

**PENGARUH SUHU, WAKTU TAHAN, DAN UKURAN  
KARBON PADA PROSES KARBURASI PADAT  
MENGUNAKAN SUMBER KARBON ARANG KAYU  
MAHONI TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR  
MIKRO BAJA AISI 316L**

**SKRIPSI**

oleh:

**RENA WAHJU DHIAUL IN'AM  
145090300111019**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2018**



**PENGARUH SUHU, WAKTU TAHAN, DAN UKURAN  
KARBON PADA PROSES KARBURASI PADAT  
MENGUNAKAN SUMBER KARBON ARANG KAYU  
MAHONI TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR  
MIKRO BAJA AISI 316L**

**SKRIPSI**

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains  
dalam bidang fisika

oleh:

**RENA WAHJU DHIAUL IN'AM**  
**145090300111019**



**JURUSAN FISIKA**  
**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**  
**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**  
**MALANG**  
**2018**



**LEMBAR PENGESAHAN**

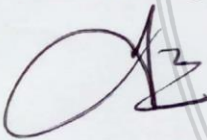
**PENGARUH SUHU, WAKTU TAHAN, DAN UKURAN  
KARBON PADA PROSES KARBURASI PADAT  
MENGUNAKAN SUMBER KARBON ARANG KAYU  
MAHONI TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR  
MIKRO BAJA AISI 316L**

oleh:

**RENA WAHJU DHIAUL IN'AM  
145090300111019**

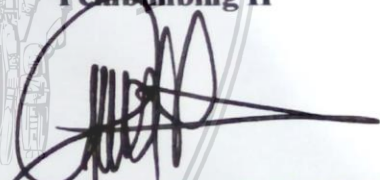
Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji  
pada tanggal... 02 JUL 2018  
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Sains dalam bidang fisika

**Pembimbing I**



**Dr. Istiroyah, S.Si., MT**  
**NIP. 197408151999032002**

**Pembimbing II**



**Muhammad Ghufroon, S.Si., M.Si**  
**NIP. 198807272014041002**

**Mengetahui,  
Ketua Jurusan Fisika FMIPA UB**



**Prof. Dr. rer. nat. Muhammad Nurhuda**  
**NIP. 196409101990021001**



Penulis mengucapkan terimakasih atas bantuan biaya yang telah diberikan oleh BOPTN Fakultas MIPA berdasarkan surat perjanjian nomor 19/UN10.F09.01/PN/2017 sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan lancar.





## LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : RENA WAHJU DHIAUL IN'AM  
NIM : 145090300111019  
Jurusan : FISIKA  
Penulis Skripsi berjudul :

**“PENGARUH SUHU, WAKTU TAHAN, DAN UKURAN  
KARBON PADA PROSES KARBURASI PADAT  
MENGUNAKAN SUMBER KARBON ARANG KAYU  
MAHONI TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR  
MIKRO BAJA AISI 316L”**

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Isi dari Skripsi yang saya buat adalah benar-benar karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain, selain nama-nama yang termaktub di isi dan tertulis di daftar pustaka dalam Skripsi ini.
2. Apabila dikemudian hari ternyata Skripsi yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya akan bersedia menanggung segala resiko yang akan saya terima.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, 02 Juli 2018

Yang menyatakan,



**RENA WAHJU DHIAUL IN'AM**  
**NIM. 145090300111019**



**PENGARUH SUHU, WAKTU TAHAN, DAN UKURAN  
KARBON PADA PROSES KARBURASI PADAT  
MENGUNAKAN SUMBER KARBON ARANG KAYU  
MAHONI TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR  
MIKRO BAJA AISI 316L**

**ABSTRAK**

Baja AISI 316L memiliki sifat tahan korosi dan keuletan yang baik, akan tetapi kekerasannya rendah. Agar didapatkan sifat yang keras pada permukaan serta lunak pada bagian inti, dilakukan suatu proses pengerasan permukaan. Salah satu cara yang bisa dilakukan adalah melalui proses karburasi padat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi suhu, waktu tahan, dan ukuran karbon terhadap kekerasan permukaan dan struktur mikro baja AISI 316L. Penelitian ini menggunakan sumber karbon arang kayu mahoni. Variasi suhu yang digunakan pada proses karburasi yaitu 700°C, 750°C, 800°C, dan 850°C. Variasi waktu tahan yang digunakan yaitu 8 jam dan 16 jam, serta variasi ukuran karbon yang digunakan yaitu <297  $\mu\text{m}$  dan <106  $\mu\text{m}$ . Baja AISI 316L hasil karburasi kemudian diuji menggunakan alat uji *micro vickers hardness tester* untuk mengetahui kekerasannya, mikroskop optik untuk mengetahui struktur mikro yang terbentuk, dan sudut kontak untuk mengetahui sifat permukaan bahan. Berdasarkan hasil pengujian kekerasan diketahui bahwa semua spesimen mengalami kenaikan kekerasan dibandingkan dengan spesimen tanpa perlakuan. Nilai kekerasan spesimen tanpa perlakuan yaitu 189 HV<sub>3</sub>. Nilai kekerasan tertinggi didapatkan pada perlakuan karburasi suhu 700°C dengan waktu tahan 16 jam, serta ukuran karbon <297  $\mu\text{m}$  yaitu sebesar 556 HV<sub>3</sub>, yang berarti terdapat kenaikan sebesar 293%. Berdasarkan hasil pengujian struktur mikro, diketahui bahwa terjadi perubahan fase dari austenit menjadi ferit, serta terdapat interstisi karbon pada batas butir pada semua perlakuan yang diberikan. Berdasarkan hasil pengujian sudut kontak, terjadi perubahan sifat permukaan bahan dari hidrofilik (suka air) menjadi hidrofobik (menolak air).

**Kata kunci:** karburasi padat, struktur mikro, kekerasan, fase, hidrofilik, hidrofobik.



# EFFECTS OF TEMPERATURE, HOLDING TIME, AND CARBON POWDER SIZE IN PACK CARBURIZING PROCESS USING MAHOGANY'S CHARCOAL AS CARBON SOURCE ON HARDNESS AND MICRO STRUCTURE OF AISI 316L STEEL

## ABSTRACT

AISI 316L steel has good corrosion resistance and good ductility, but the hardness is low. In order to obtain hard properties on the surface and soft on the core, a surface hardening process is performed. One of the process is pack carburizing. The purpose of this research is to determine the effect of variation in temperature, holding time, and charcoal powder size on surface hardness and microstructure AISI 316L steel. This research uses mahogany's charcoal as carbon source. The temperature variations used in the carburizing process are 700°C, 750°C, 800°C, and 850°C. Variation of holding time used is 8 hours and 16 hours, and variation of powder size used is <297  $\mu\text{m}$  and <106  $\mu\text{m}$ . The AISI 316L steel which has been carburized then tested using a micro vickers hardness tester to determine the hardness, optical microscopy to recognize the microstructure formed, and contact angle test to determine the surface properties of the material. Based on the results of hardness testing, it is known that the hardness of all specimens are increase compared to the specimen without treatment. Hardness value of the specimen without treatment is 189 HV<sub>3</sub>. The highest hardness value was obtained at the carburation treatment of temperature of 700°C with 16 hours holding time, and <297  $\mu\text{m}$  powder size that is equal to 556 HV<sub>3</sub>, which means there is an increase of 293%. Based on the results of microstructure testing, it is known that there is a phase transformation from austenite to ferrite, and there are carbon interstices at the grain boundary in all treatments. Based on the results of testing the contact angle, there is a change in the surface properties of the material from hydrophilic to hydrophobic (water-resistant).

**Keywords:** pack carburizing, microstructure, hardness, phase, hydrophilic, hydrophobic.



## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya ucapkan kepada Allah SWT, karena atas limpahan rahmat, hidayah, dan inayah-Nya saya dapat menyelesaikan laporan skripsi ini tentang “Pengaruh Suhu, Waktu Tahan, dan Ukuran Karbon pada proses Karburasi Padat menggunakan Sumber Karbon Arang Kayu Mahoni terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Baja AISI 316L”. Skripsi ini disusun dengan tujuan untuk menyelesaikan tugas akhir di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya. Pembuatan skripsi ini tidak lepas dari dorongan, bantuan dan bimbingan yang telah diberikan oleh berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua (H. Suroso dan Kuni Masrukatin) yang telah memberikan bantuan baik moril ataupun materil serta kakak dan adik (Muhammad Gentur Witjaksono, Kunti Trilintang Prabandani, dan Aziza Nawla Sabita) yang telah memberikan semangat dalam penyusunan laporan skripsi ini.
2. Bapak Prof.Dr.rer.nat. Muhammad Nurhuda selaku Ketua Jurusan Fisika, FMIPA UB yang telah mencurahkan segenap waktu dan pemikirannya untuk Jurusan Fisika.
3. Ibu Dr.Eng Masruroh, S.Si.,M.Si. selaku Ketua Program Studi Fisika.
4. Ibu Firdy Yuana, S.Si.,M.Si selaku Dosen Pembimbing Akademik.
5. Ibu Dr. Istiroyah, S.Si., MT selaku Dosen Pembimbing 1 yang telah banyak memberikan bimbingan dan masukan dalam penyusunan laporan skripsi.
6. Bapak Muhammad Ghufroon, S.Si.,M.Si selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah banyak memberikan bimbingan dan masukan dalam penyusunan laporan skripsi.
7. Seluruh Dosen Jurusan Fisika FMIPA UB yang telah memberikan ilmu dan bimbingan selama ini.
8. Bapak Puji Santoso selaku laboran Laboratorium Fisika Material yang telah banyak membantu kelancaran penyusunan laporan skripsi ini.
9. Tim penelitian yaitu Adin Lutfi Nursela, Bella Altika, Pugoh Adi Marnianto, Anggraeni Mulyadewi, Septi Dwi Lestari, Jias Oktavia

- Marnaningrum, Lusita Sulandari, dan Yelly Zelfita yang telah membantu selama penelitian.
10. Sahabat-sahabat tersayang Shindy Maria Ulfa, Inna Kumalawati, Sandra Erika Abrita, Febriyani Riyanda, Dewi Maria, Diah Utami, dan Selin Lusiana yang telah membantu dan memberikan semangat selama penelitian.
  11. Seluruh Pengurus Himpunan Mahasiswa Fisika, khususnya Departemen Fasilitas Ekonomi dan Sosial Mahasiswa (FESMA), Universitas Brawijaya periode 2017 yang telah berbagi pengalaman dengan penulis.
  12. Seluruh teman-teman Fisika angkatan 2014 yang telah berbagi ilmu dan pengalaman selama perkuliahan.
  13. Semua pihak yang tidak disebutkan disini serta telah ikut membantu menyelesaikan proposal tugas akhir ini

Kami mengucapkan terima kasih atas bimbingan dan bantuan yang telah diberikan. Adapun saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan penulis demi perbaikan proposal ini dan semoga proposal ini dapat bermanfaat khususnya bagi penulis dan pembaca pada umumnya.

Malang, 02 Juli 2018

Penulis



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK .....	ix
ABSTRACT .....	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI .....	xv
DAFTAR GAMBAR .....	xvii
DAFTAR TABEL .....	xix
DAFTAR LAMPIRAN .....	xxi
DAFTAR SINGKATAN DAN ISTILAH .....	xxiii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah .....	2
1.4. Tujuan .....	3
1.5. Manfaat .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Baja AISI 316L .....	5
2.2. Mahoni .....	6
2.3. Karburasi.....	6
2.4. Difusi .....	8
2.5. Karbon .....	11
2.6. Struktur Mikro Baja .....	12
2.6.1. Diagram Fase Fe-C.....	12
2.6.2. Perubahan Fase Fe-C.....	14
2.7. Karakterisasi .....	15
2.7.1. Uji Kekerasan .....	15
2.7.2. Uji Struktur Mikro.....	18
2.7.3. Uji Sudut Kontak.....	19
BAB III METODE PENELITIAN .....	21
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian .....	21

3.1.1.	Waktu Pelaksanaan.....	21
3.1.2.	Tempat Pelaksanaan .....	21
3.2.	Alat dan Bahan.....	21
3.2.1.	Alat-alat .....	21
3.2.2.	Bahan-bahan .....	21
3.3.	Metode Penelitian.....	22
3.3.1.	Persiapan Spesimen Uji .....	22
3.3.2.	Pemurnian Karbon.....	23
3.3.3.	Karburasi .....	25
3.3.4.	Karakterisasi .....	26
3.4.	Diagram Alir .....	29
<b>BAB IV PEMBAHASAN .....</b>		<b>31</b>
4.1.	Pengaruh Karburasi terhadap Visualisasi Baja AISI 316L	31
4.2.	Pengaruh Karburasi terhadap Kekerasan Baja AISI 316L	34
4.3.	Pengaruh Karburasi terhadap Struktur Mikro dan Ukuran Butir Baja AISI 316L .....	37
4.4.	Pengaruh Karburasi terhadap Nilai Sudut Kontak Baja AISI 316L .....	49
<b>BAB V PENUTUP .....</b>		<b>53</b>
5.1.	Kesimpulan .....	53
5.2.	Saran.....	53
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>55</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>		<b>59</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. <i>Pack carburizing</i> .....	8
Gambar 2.2. Proses difusi atom .....	9
Gambar 2.3. Skema perubahan energi aktivasi pada difusi interstisi .....	11
Gambar 2.4. Diagram fase Fe-C .....	13
Gambar 2.5. Perubahan fase ferit .....	14
Gambar 2.6. Perubahan fase austenit .....	15
Gambar 2.7. Kandungan karbon kayu dihitung dari data analisis ekstraktif . .....	16
Gambar 2.8. Tipe-tipe lekukan piramida intan .....	18
Gambar 2.9. Ilustrasi pengukuran sudut kontak .....	19
Gambar 3.1. Baja AISI 316L berukuran 2 cm x 2 cm x 0,1 cm .....	22
Gambar 3.2. Proses pencucian baja menggunakan <i>ultrasonic cleaner</i> .....	23
Gambar 3.3. Hasil proses karbonisasi .....	24
Gambar 3.4. Proses penetralan menggunakan <i>magnetic stirrer</i> .....	24
Gambar 3.5. Proses penyaringan karbon .....	24
Gambar 3.6. Posisi baja dalam wadah karburasi .....	25
Gambar 3.7. Posisi keramik dalam tanur.....	25
Gambar 3.8. Alat uji kekerasan <i>micro vickers hardness tester</i> ESEWAY .....	26
Gambar 3.9. Mikroskop optik Olympus BX51 .....	27
Gambar 3.10. Alat uji sudut kontak .....	27
Gambar 3.11. Diagram alir penelitian .....	29
Gambar 4.1. Baja AISI 316L.....	31
Gambar 4.2. Grafik hasil pengujian kekerasan baja AISI 316L hasil karburasi .....	34
Gambar 4.3. (a) Hasil uji mikro struktur baja AISI 316L tanpa perlakuan. (b) Struktur mikro baja austenit (William D. Callister, 2007).....	38

Gambar 4.4. Struktur mikro baja AISI 316L hasil karburasi dengan ukuran karbon lolos ayakan 50 mesh, waktu tahan 8 jam, dan suhu a)700°C b)750°C c) 800°C d)850°C.....	39
Gambar 4.5. Struktur mikro baja AISI 316L hasil karburasi dengan ukuran karbon lolos ayakan 50 mesh, waktu tahan 16 jam, dan suhu a)700°C b)750°C c) 800°C d)850°C.....	40
Gambar 4.6. Struktur mikro baja AISI 316L hasil karburasi dengan ukuran karbon lolos ayakan 150 mesh, waktu tahan 8 jam, dan suhu a)700°C b)750°C c) 800°C d)850°C.....	41
Gambar 4.7. Struktur mikro baja AISI 316L hasil karburasi dengan ukuran karbon lolos ayakan 150 mesh, waktu tahan 16 jam, dan suhu a)700°C b)750°C c) 800°C d)850°C.....	42
Gambar 4.8. Fase ferit (LAMET dkk., 1985) .....	45
Gambar 4.9. Grafik distribusi ukuran butir baja AISI 316L sebelum dan sesudah dilakukan proses karburasi pada ukuran karbon lolos ayakan 50 mesh .....	46
Gambar 4.10. Grafik distribusi ukuran butir baja AISI 316L sebelum dan sesudah dilakukan proses karburasi pada ukuran karbon lolos ayakan 150 mesh .....	48

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Pengaruh karburasi terhadap visualisasi baja AISI 316L pada ukuran karbon yang lolos ayakan 50 mesh .....	32
Tabel 4.2. Pengaruh karburasi terhadap visualisasi Baja AISI 316L pada ukuran karbon yang lolos ayakan 150 mesh .....	33
Tabel 4.3. Ketebalan interstisi karbon pada batas butir.....	44
Tabel 4.4. Nilai sudut kontak baja AISI 316L hasil karburasi .....	50





## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Alat dan bahan .....	59
Lampiran 2. Hasil uji kekerasan.....	67
Lampiran 3. Hasil uji struktur mikro.....	68
Lampiran 4. Ketebalan interstisi karbon pada batas butir .....	119
Lampiran 5. Visualisasi hasil pengujian sudut kontak .....	128
Lampiran 6. Perhitungan pengukuran .....	137







## DAFTAR SINGKATAN DAN ISTILAH

Lambang/Singkatan	Keterangan
AISI	<i>American Iron and Steel Institute</i>
HV	<i>Hardness vickers</i> Satuan nilai kekerasan pada pengujian menggunakan <i>micro vickers hardness tester</i>
HV <sub>3</sub>	<i>Hardness vickers</i> dengan pembebanan 3 newton
FCC	<i>Face-centered cubic</i>
BCC	<i>Body-centered cubic</i>
BCT	<i>Body centered tetragonal</i>
HNO <sub>3</sub>	Asam nitrat
HCl	Asam klorida
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Natrium karbonat
C <sub>6</sub> Cr <sub>23</sub>	Krom karbida
Fe <sub>3</sub> C	Besi karbida atau sementit
Mesh	Ukuran dari banyaknya lubang pada ayakan dalam luasan 1 inch persegi
50 mesh	Ukuran ayakan yang dapat meloloskan butir karbon berukuran <297 µm
150 mesh	Ukuran ayakan yang dapat meloloskan butir karbon berukuran <106 µm



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Saat ini industri baja semakin meningkat. Tahun ini diperkirakan kebutuhan baja akan meningkat hingga 800.000 ton. Baja yang banyak digunakan pada berbagai industri adalah baja karbon rendah. Salah satu jenis baja karbon rendah adalah AISI 316L. Baja ini memiliki sifat tahan karat, memiliki nilai keuletan yang tinggi tetapi kekerasan dan keausannya rendah. Jika digunakan metode pengerasan permukaan, baja ini dapat diaplikasikan pada komponen yang membutuhkan sifat keras pada permukaan dan ulet pada inti seperti poros, *crankshaft* dan roda gigi (Negara, 2016).

Upaya perbaikan sifat mekanis baja AISI 316L sangat diperlukan untuk meningkatkan kehandalannya. Kekerasan adalah salah satu sifat mekanik yang sangat penting. Baja ini tidak dapat dikeraskan secara langsung karena memiliki kadar karbon yang rendah. Cara lain untuk mengeraskan baja ini yaitu melalui proses karburasi. Karburasi adalah suatu proses penambahan unsur karbon pada permukaan suatu komponen secara difusi untuk memperbaiki sifat mekanisnya (Nurjito dan Leman, 2008).

Karbon merupakan salah satu unsur yang paling banyak terdapat di bumi, karbon menempati urutan keempat sebagai unsur yang paling berlimpah di alam semesta (Mulyanti, dkk, 2016). Karbon dapat dibuat dari berbagai berbagai bahan alam seperti tulang, kayu, sekam, tongkol jagung, tempurung kelapa, sabut kelapa, ampas penggilingan tebu, ampas pembuatan kertas, serbuk gergaji, kayu keras dan batubara (Kusumaningrum dan Nurhayati, 2016). Karbon dengan sumber kayu keras seperti mahoni cukup mudah didapatkan. Pohon mahoni adalah salah satu jenis pohon hutan yang banyak ditemukan di Indonesia. Bahkan, (Mulyana dan Asmarahman, 2010) mengemukakan bahwa hasil kayu dari pohon ini merupakan salah satu dari tujuh pohon penghasil rupiah. Hal ini dikarenakan banyaknya industri yang memanfaatkan kayu ini sebagai kayu gergajian, kayu konstruksi, mebel, dan olahan lainnya sehingga produk kayu ini pun

menghasilkan banyak limbah (Pujiarti dan Sutapa, 2005). Oleh karena itu, limbah kayu mahoni sangat baik jika dimanfaatkan kembali. Salah satu pemanfaatan dari limbah kayu mahoni adalah sebagai sumber karbon untuk proses karburasi. Proses karburasi ini akan meningkatkan nilai kekerasan pada permukaan baja, sedangkan pada bagian dalamnya akan tetap ulet.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Alias dkk., 2013), karburasi dengan suhu 700 °C, 750 °C, 800 °C dan waktu penahanan 6 jam dapat meningkatkan nilai kekerasan permukaan baja hasil karburasi. Namun, penelitian ini menggunakan pasta karburasi berupa campuran sodium carbonate, barium carbonate, dan air sebagai sumber karbon. Menurut Matthews (1993), kayu mahoni memiliki kandungan karbon rata-rata sebesar 48,1%. Kayu mahoni belum pernah digunakan sebagai sumber karbon untuk proses karburasi. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Kuswanto (2010), ukuran karbon yang efektif untuk proses karburasi adalah ukuran karbon yang lolos ayakan 50 mesh. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan sumber karbon berupa arang kayu mahoni, serta dilakukan variasi suhu, waktu tahan, dan ukuran karbon pada proses karburasi.

## **1.2. Rumusan Masalah**

1. Bagaimana pengaruh suhu pada proses karburasi menggunakan arang kayu mahoni sebagai sumber karbon terhadap kekerasan dan struktur mikro baja AISI 316L?
2. Bagaimana pengaruh waktu tahan pada proses karburasi terhadap kekerasan dan struktur mikro baja AISI 316L?
3. Bagaimana pengaruh perbedaan ukuran karbon pada proses karburasi terhadap kekerasan dan struktur mikro baja AISI 316L?

## **1.3. Batasan Masalah**

Batasan masalah dari penelitian ini antara lain:

1. Jenis arang yang digunakan berasal dari limbah kayu pohon mahoni.
2. Waktu tahan yang digunakan adalah 8 dan 16 jam.
3. Variasi suhu yang dilakukan untuk carburizing adalah 700 °C, 750 °C, 800 °C, 850 °C.

4. Proses karburasi diikuti dengan pendininginan secara lambat.
5. Karakterisasi yang dilakukan meliputi uji kekerasan *micro vickers hardness tester*, uji struktur mikro, dan uji sudut kontak.

#### **1.4. Tujuan**

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh suhu pada proses karburasi menggunakan arang kayu mahoni sebagai sumber karbon terhadap kekerasan dan struktur mikro baja AISI 316L.
2. Menganalisis pengaruh waktu tahan pada proses karburasi terhadap kekerasan dan struktur mikro baja AISI 316L.
3. Menganalisis pengaruh perbedaan ukuran karbon pada proses karburasi terhadap kekerasan dan struktur mikro baja AISI 316L.

#### **1.5. Manfaat**

Penelitian ini bermanfaat untuk memberikan kontribusi ilmiah terhadap pengembangan rekayasa permukaan menggunakan metode karburasi padat pada baja AISI 316L. Penelitian ini memberikan informasi mengenai pengaruh suhu, waktu tahan, dan ukuran karbon terhadap kekerasan dan struktur mikro yang terjadi pada baja AISI 316L hasil karburasi dengan menggunakan sumber karbon yang berasal dari arang kayu mahoni.



**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Baja AISI 316L

AISI 316L merupakan baja dengan kandungan karbon yang rendah, memiliki ketahanan korosi, tetapi mempunyai ketahanan lelah yang rendah. AISI 316L mengandung unsur chromium (Cr), Cr ini yang membuatnya dapat bertahan dari oksidasi yang menyebabkan terjadinya karat (Widodo, Raharjo, Kusumaningsih, dan Rizky, 2015). AISI 316L mempunyai komposisi kimia  $C \leq 0,030\%$ ,  $\leq 1,0\%$  Si,  $\leq 2,0\%$  Mn,  $0,045\% P \leq$ ,  $\leq S 0,030\%$ ,  $12,0-15,0\%$  Ni,  $16,0- 18,0\%$  Cr, dan  $2,0-3,0\%$  Mn. AISI 316L banyak digunakan karena karena keunggulannya pada ketahanan korosi, sifat fisik, sifat mekanik, dan permukaan yang mudah dibersihkan. Komposisi kimia dari AISI 316L telah dikembangkan untuk memperoleh struktur austenit yang stabil yang memiliki banyak keuntungan, yaitu baja tahan karat austenitik memiliki struktur FCC sehingga lebih unggul dari baja tahan karat feritik dalam ketahanan terhadap korosi karena kepadatan atom kristalografi yang lebih tinggi, rasio kekuatan luluh dan kekuatan tarik yang sangat rendah dan mampu bentuk yang tinggi, *cold working* dan *successive aging treatment* dapat diterapkan untuk meningkatkan kekuatan. Baja tahan karat austenitik pada dasarnya bersifat non magnetik (Sutowo, Ikhsan, dan Kartika, 2014).

Jenis baja tahan karat austenitik yang tahan terhadap korosi suhu tinggi dan banyak dipakai dalam industri adalah baja tipe AISI 316, 316L, dan 316 Ti. Baja ini merupakan material yang dikembangkan dari baja tahan karat AISI 316 dengan mengurangi kadar karbon hingga  $0,03\%$ . Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, jenis baja ini mempunyai kandungan krom mencapai  $18\%$  dan mengandung unsur penstabil Mo serta penahan bahaya sensitisasi sehingga mampu membentuk lapisan oksida krom yang baik pada suhu tinggi (Bandriyana, Untoro, dan Sugiono, 2003). AISI 316L *stainless steel* sudah secara luas digunakan pada dunia rekayasa material di dunia industri seperti petrokimia, pembangkit tenaga nuklir, dan biomedik. AISI 316L sangat sering digunakan pada dunia

ilmu biomedik karena memiliki ketahanan korosi yang tinggi dan sangat cocok untuk bahan implan (Widodo dkk., 2015).

## 2.2. Mahoni

Mahoni atau mempunyai nama lain mahagoni, maoni, dan moni adalah jenis pohon hutan yang berasal dari India yang banyak ditemukan di Indonesia. Pohon ini biasa ditemukan di pinggir-pinggir jalan yang berfungsi sebagai peneduh. Hasil kayu mahoni ini tergolong ke dalam kayu keras (*hardwood*). Kayu mahoni mempunyai banyak kegunaan, yaitu sebagai pembuatan perabot rumah tangga, perabot ukiran, dan pembuatan penggaris kayu. Mahoni termasuk ke dalam famili Meliaceae, ia memiliki akar tunggang, batang bulat, dan bergetah, berdaun majemuk, tulang daun menyirip dengan tepi rata, dan mempunyai tinggi hingga mencapai 25 meter (Mulyana dan Asmarahman, 2010). Menurut Matthews (1993), kandungan karbon kayu mahoni dihitung dari data analisis ekstraktif adalah sebesar 48,1%.

## 2.3. Karburasi

Karburasi adalah suatu proses penambahan unsur karbon pada permukaan suatu logam secara difusi untuk memperbaiki sifat fisis dan mekanisnya. Sampai saat ini proses karburasi masih banyak digunakan, meskipun dengan metode *pack carburizing* yang sederhana. Metode ini terdiri dari dua proses perlakuan terhadap komponen, yaitu: (a) perlakuan termokimia yang mengubah komposisi kimia permukaan baja dengan difusi karbon dan/atau nitrogen dan terkadang elemen lainnya dan (b) transformasi fase akibat pemanasan dan pendinginan cepat pada permukaan luar. Pada metode *pack carburizing*, komponen yang akan dikarburasi ditempatkan dalam kotak berisi media penambah unsur karbon (media karburasi). Bahan yang dapat digunakan sebagai media karburasi dapat berupa bahan alam dan limbah, seperti arang kayu, arang tempurung kelapa, arang batu baterai bekas, arang pohon bakau, dan arang sekam padi (Nurjito & Leman, 2008).

Media karburasi yang telah berbentuk serbuk dan komponen yang akan dikarburasi diletakkan dalam kotak, kemudian dipanaskan pada suhu austenisasi sehingga karbon yang terdapat dalam media

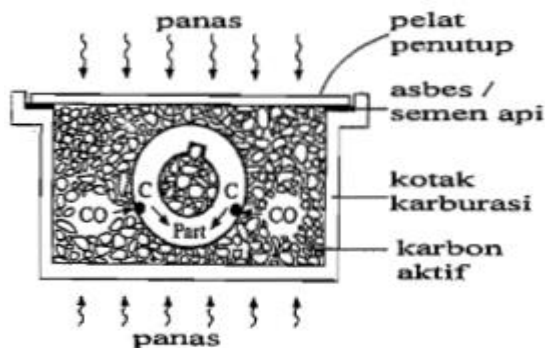


karburasi akan terdifusi ke permukaan komponen. Akibat pemanasan selama proses, media karburasi akan teroksidasi menghasilkan gas CO<sub>2</sub> dan CO. Gas CO akan bereaksi dengan permukaan baja membentuk atom karbon yang kemudian berdifusi ke dalam baja mengikuti persamaan:



Gas CO<sub>2</sub> ini sebagian akan bereaksi kembali dengan karbon dari media karburasi membentuk CO dan sebagian lagi akan menguap. Dengan demikian, setelah dipakai pada satu proses *pack carburizing*, unsur karbon dalam media karburasi akan berkurang. Akan tetapi, pada beberapa industri kecil, serbuk arang bekas yang sudah digunakan pada proses karburasi masih dapat digunakan kembali dengan cara ditambahkan pada serbuk arang yang masih baru. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan manfaat media karburasi dari bahan alam dan menekan limbah hasil proses tersebut (Nurjito dan Leman, 2008).

Baja karbon rendah memiliki kandungan karbon lebih kecil dari 0,3% berat. Bahan ini cukup liat tetapi kekerasannya rendah sehingga tidak tahan aus. Kekerasan permukaan ini dapat ditingkatkan nilainya dengan cara memberi lapisan pada permukaannya. Salah satu cara untuk memberi lapisan pada permukaan logam adalah dengan teknik *pack carburizing*. *Pack carburizing* merupakan proses termokimia yang dilakukan dengan cara memanaskan spesimen pada suhu austenitnya dalam ruang yang mengandung serbuk karbon seperti yang terlihat pada gambar berikut:

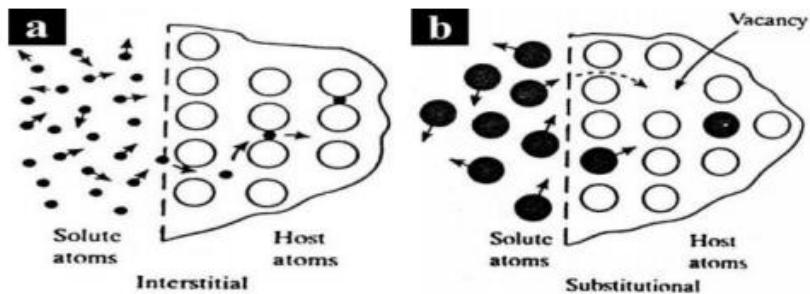


Gambar 2.1. *Pack carburizing* (Malau & Khasani, 2008)

Saat suhu tersebut atom karbon (C) akan masuk ke dalam spesimen secara difusi intertisi. Masuknya atom secara difusi ini (Gambar 2.2.) akan meningkatkan kekerasan permukaan sehingga permukaan tersebut lebih tahan aus dan umurnya dapat meningkat (Malau dan Khasani, 2008).

## 2.4. Difusi

Jika kita ingin melakukan pengerasan pada baja dimana tidak memiliki banyak kandungan karbon dan paduan lain untuk dikeraskan dengan *quenching*, perlakuan difusi dapat diterapkan untuk menambah elemen paduan pada permukaan yang akan dikeraskan. Difusi adalah perpindahan secara spontan dari atom atau molekul dalam suatu bahan yang cenderung untuk menjaga keseragaman komposisi secara keseluruhan. Terdapat dua cara yang berbeda agar suatu atom padat dapat terdifusi ke dalam logam induk. Gambar 2.2. memperlihatkan atom padat yang kecil menuju ruang kosong antara atom-atom logam induk yang disebut sebagai *interstitial diffusion*, sedangkan difusi atom yang besar ke dalam logam induk dengan cara mengisi ruang kosong yang ada disebut *substitutional diffusion*. Atom padat mencari jalannya sendiri untuk menemukan kekosongan atom dalam logam induk dan menempatnya. Kekosongan atom adalah tempat atom yang seharusnya terisi atom tetapi tidak terdapat atom di tempat tersebut (Malau & Khasani, 2008).



Gambar 2.2. Proses difusi atom (Malau dan Khasani, 2008)

Beberapa teori difusi secara praktis dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Proses terjadinya difusi untuk pengerasan baja biasanya membutuhkan suhu yang tinggi, lebih besar dari 900°F (482°C).
2. Agar difusi dapat terjadi logam induk harus memiliki konsentrasi unsur pendifusi yang rendah dan harus terdapat konsentrasi yang lebih banyak pada lingkungan atau sebaliknya.
3. Difusi hanya akan terjadi ketika ada atom yang cocok antara atom pendifusi dan logam induk (Aziz Cahyo Yullye Antoro, 2009).

Proses difusi atomik pada material merupakan perpindahan atom dari konsentrasi yang tinggi menuju konsentrasi yang lebih rendah di dalam material. Dalam rekayasa permukaan atom-atom donor diaktivasi sehingga mampu menembus permukaan material. Proses difusi atomik *steady state* dituliskan dalam hukum Fick I sedangkan selama proses difusi atomik dalam rekayasa permukaan umumnya bersifat *non-steady state* yang dituliskan dalam hukum Fick II (Setiawan, 2012).

Saat proses *pack carburizing*, jumlah karbon yang dapat didifusikan ke permukaan baja karbon rendah sangat bergantung pada kadar karbon yang terdapat dalam media karburasi, sesuai hukum Fick. Hukum pertama Fick menyatakan bahwa difusi dari sebuah elemen dalam suatu bahan substrat merupakan fungsi koefisien difusi dan gradien konsentrasi.

$$\text{Hukum pertama Fick's: } J = -D \left( \frac{dC}{dx} \right) \quad (2.2)$$

dengan:  $J$  = fluks atom (jumlah atom/satuan waktu/satuan luas)

$D$  = koefisien difusi (satuan luas/satuan waktu)

$\frac{dC}{dx}$  = gradien konsentrasi ( $C$ =jumlah atom/volume;  $x$  = jarak)

Koefisien difusi bergantung pada jenis bahan substrat, khususnya pada jenis atomnya. Gradien konsentrasi adalah jumlah atom/molekul yang terdapat disekitar substrat dibandingkan dengan jumlah atom/molekul yang terdapat di dalam substrat. Oleh sebab itu, jumlah atom karbon dalam media karburasi juga merupakan variabel pada sebuah proses karburasi (Nurjito dan Leman, 2008).

Menurut persamaan hukum kedua Fick perubahan konsentrasi terhadap waktu dalam daerah tertentu adalah sebanding dengan perubahan dalam perbedaan konsentrasi pada titik itu dalam sistem tersebut.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (2.3)$$

dengan:  $D$  = koefisien difusi ( $m^2/s$ )

$C$  = konsentrasi atom donor ( $kg/m^3$ )

$x$  = kedalaman difusi (m) dan  $t$  adalah waktu proses difusi (s) (Setiawan, 2012).

Kinetika difusi sangat bergantung pada suhu. Suhu mempengaruhi koefisien difusi ( $D$ ) yang dinyatakan oleh persamaan Arrhenius yang menyatakan bahwa ketika suhu bahan meningkat, koefisien difusi juga akan meningkat (Askeland, Fulay, dan Wright, 2010).

$$D = D_0 \exp \left( \frac{-Q}{RT} \right) \quad (2.4)$$

Dimana  $Q$  = energi aktivasi (cal/mol)

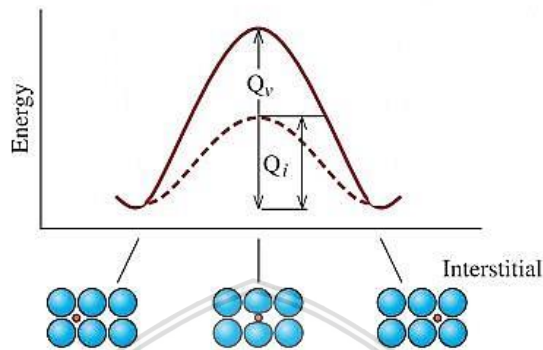
$R$  = konstanta gas  $\left( 1,987 \frac{cal}{mol \cdot K} \right)$

$T$  = suhu absolut (K)

$D_0$  = koefisien difusi saat  $1/T=0$

Atom harus memiliki energi yang cukup untuk bergerak melewati atom di sekitar untuk mencapai lokasi barunya. Hal ini ditunjukkan secara skematik pada Gambar 2.3. Atom pada mulanya berada di lokasi yang memiliki energi rendah dan relatif stabil kemudian atom harus mengatasi energi penghalang untuk pindah ke lokasi baru. Energi penghalang tersebut berupa energi aktivasi  $Q$ .

Energi termal memberikan atom atau ion suatu energi yang diperlukan untuk melewati penghalang.



Gambar 2.3. Skema perubahan energi aktivasi pada difusi interstisi (Askeland dkk., 2010)

## 2.5. Karbon

Karbon merupakan suatu material yang memiliki berbagai keunggulan dari segi sifat fisika dan kimia, sehingga banyak dikembangkan oleh para peneliti saat ini. Keunggulan yang dimiliki oleh karbon ini menjadikannya sebagai material dengan aplikasi yang luas. Performa dari karbon ini dipengaruhi oleh morfologi (seperti: karbon koloidal, nanotube, fullerenese, grafit, grafen, colloidal sphere, nanofiber, porous carbon, nanowire, dan karbon aktif) yang dimiliki akibat metode dan kondisi sintesis. Karbon merupakan salah satu material yang memiliki beragam morfologi, diantaranya: karbon koloidal, *nanotube*, *fullerenese*, grafit, *grafen*, *colloidal sphere*, nanofiber, porous carbon, nanowire, dan karbon aktif.

Perbedaan morfologi ini akan berakibat pada luasnya aplikasi dari karbon tersebut, seperti: pendukung katalis, adsorben, penyimpanan gas, teknologi pemisahan, elektroda baterai, *template* material berpori, sel bahan bakar, dan sel biologis. Selain itu, beberapa partikel karbon dengan morfologi tertentu akan memiliki aplikasi yang berbeda, diantaranya:

- a. Karbon sperik diaplikasikan dalam *nanodevice*, penyimpan energi, teknologi pemisahan, adsorben, katalis, anoda baterai, dan template pembentuk material berpori.
- b. Karbon berpori digunakan sebagai penukar ion, katalis, elektroda baterai, pengisi polimer, ultrafiltrasi, sensor, bahan bakar, adsorben, dan membrane.
- c. Karbon koloidal memiliki keunggulan, diantaranya: banyak gugus fungsi, mudah terdispersi, mempunyai sisi aktif, dan mudah dikompositkan.

Selain dari morfologi dan aplikasinya yang luas, partikel karbon juga banyak diteliti karena memiliki beberapa keunggulan, seperti: tidak berbahaya, murah, kapasitas volumetrik tinggi, kapasitas refersibel tinggi, mudah dikompositkan, berlimpah, murah, dan stabil (Rahman, Fadhlulloh, Nandiyanto, & Mudzakir, 2015). Jumlah kadar karbon sangat berpengaruh terhadap karakteristik baja. Salah satu sifat mekanis baja yang dipengaruhi oleh karbon adalah kekerasan. Semakin tinggi kadar karbon dalam baja, kekerasannya juga akan bertambah. Namun, kondisi ini suatu saat akan mencapai kekerasan maksimum (Nurjito dan Leman, 2008).

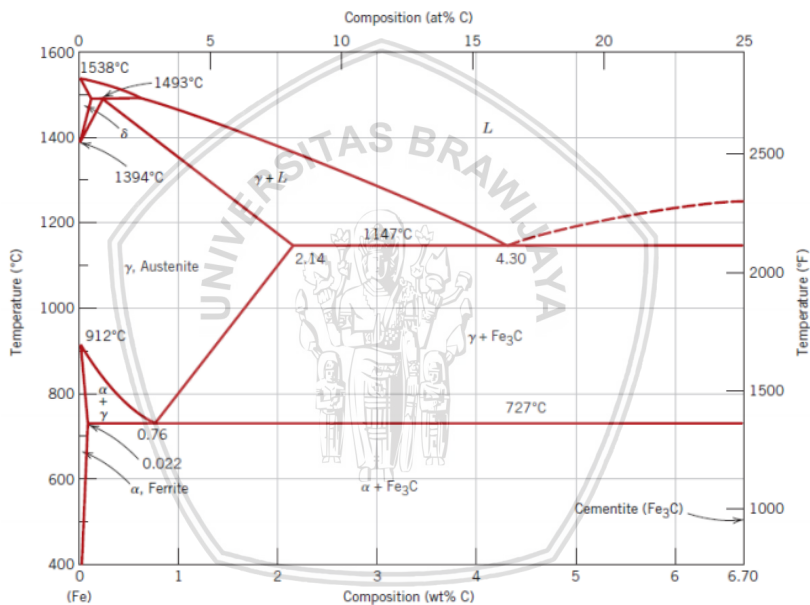
## 2.6. Struktur Mikro Baja

Jika permukaan dari suatu spesimen baja disiapkan dengan cermat dan struktur mikronya diamati dengan menggunakan mikroskop optik, maka akan tampak bahwa baja tersebut memiliki struktur yang berbeda-beda. Jenis struktur yang ada sangat dipengaruhi oleh komposisi kimia dari baja dan jenis perlakuan panas yang diterapkan pada baja tersebut. Struktur yang akan ada pada suatu baja adalah ferit, perlit, bainit, martensit, sementit dan karbida lainnya (Handoyo, 2015).

### 2.6.1. Diagram Fase Fe-C

Diagram kesetimbangan besi karbon seperti pada Gambar 2.4 adalah diagram yang menampilkan hubungan antara suhu dimana terjadi perubahan fase selama proses pendinginan dan pemanasan yang lambat dengan kadar karbon. Diagram ini merupakan dasar pemahaman untuk semua operasi-operasi perlakuan panas. Dimana fungsi diagram fase adalah memudahkan memilih suhu pemanasan

yang sesuai untuk setiap proses perlakuan panas baik proses anil, normalizing maupun proses pengerasan atau hardening. Berdasarkan Gambar 2.4 diagram fase Fe-C dapat terlihat bahwa pada suhu 727°C terjadi transformasi fase austenit menjadi fase perlit. Transformasi fase ini dikenal sebagai reaksi *eutectoid*, dimana fase ini merupakan fase dasar dari proses perlakuan panas pada baja. Kemudian pada suhu 912°C hingga 1394 °C merupakan daerah besi gamma ( $\gamma$ -Fe) atau austenit, pada kondisi ini biasanya austenit memiliki struktur kristal FCC (*Face Centered Cubic*) bersifat stabil, lunak, ulet, mudah dibentuk (Handoyo, 2015).



Gambar 2.4. Diagram fase Fe-C (Handoyo, 2015).

Besi gamma ini dapat melarutkan unsur karbon maksimum hingga mencapai 2,14% C pada suhu 1147°C. Untuk suhu dibawah 727°C besi murni berada pada fase ferit ( $\alpha$ -Fe) dengan struktur kristal BCC (*Body Centered Cubic*), besi murni BCC mampu melarutkan karbon maksimum sekitar 0,02%C pada suhu 727°C. Sedangkan besi delta ( $\delta$ -Fe) terbentuk dari besi gamma yang mengalami perubahan

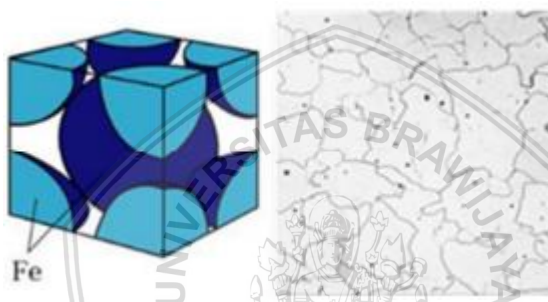


struktur dari FCC ke struktur BCC akibat peningkatan suhu dari suhu 1394°C sampai 1538°C, pada fase ini besi delta hanya mampu menyerap karbon sebesar 0,05% C (Handoyo, 2015).

### 2.6.2. Perubahan Fase Fe-C

Dalam diagram fase Fe-C terjadi beberapa perubahan fase yaitu perubahan fase ferit ( $\alpha$ -Fe), austenit ( $\gamma$ -Fe), sementit, perlit, bainit dan martensit (Nurjito dan Leman, 2008).

#### 1. Ferit atau Besi Alpha ( $\alpha$ -Fe)

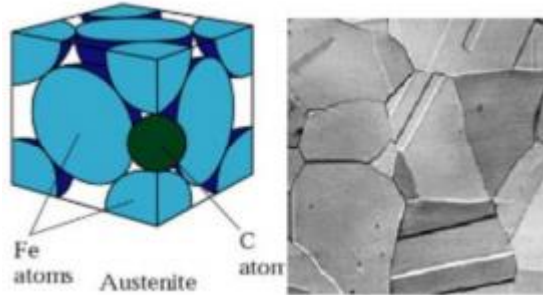


Gambar 2.5. Perubahan fase ferit (Handoyo, 2015)

Ferit merupakan suatu larutan padat karbon dalam struktur besi murni yang memiliki struktur BCC (*Body Centered Cubic*) dengan sifat lunak dan ulet. Fase ferit mulai terbentuk pada suhu antara 300°C hingga mencapai suhu 727 °C. Kelarutan karbon pada fase ini relatif kecil dibandingkan dengan kelarutan pada fase larutan padat lainnya. Saat fase ferit terbentuk, kelarutan karbon dalam ferit hanyalah sekitar 0,02% C (Handoyo, 2015).



## 2. Austenit atau Besi Gamma ( $\gamma$ -Fe)



Gambar 2.6. Perubahan fase austenit (Handoyo, 2015)

Fase austenit merupakan larutan padat intertisi antara karbon dan besi yang memiliki struktur FCC (*Face Centered Cubic*). Fase austenit terbentuk antara suhu  $912^{\circ}\text{C}$  hingga suhu  $1394^{\circ}\text{C}$ . Kelarutan karbon pada saat berada pada fase austenit lebih besar hingga mencapai kelarutan karbon sekitar 2,14% C (Nurjito dan Leman, 2008).

### 2.7. Karakterisasi

Karakterisasi material bertujuan untuk menentukan sifat fisika dan kimia (fisiko-kimia), seperti mengetahui jenis zat (atom, molekul, senyawa), mengetahui struktur (kristal, non kristal, ikatan), melihat morfologi permukaan, mengetahui komposisi bahan, mengetahui kemurnian, sifat listrik, sifat kimia dan lain-lain. Karakterisasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### 2.7.1. Uji Kekerasan

Kekerasan logam didefinisikan sebagai ketahanan terhadap penetrasi, dan memberikan indikasi cepat mengenai perilaku deformasi. Alat uji kekerasan menekankan bola kecil, piramida atau kerucut ke permukaan logam dengan beban tertentu, dan bilangan kekerasan (*brinell* atau piramida intan *vickers*) diperoleh dari diameter jejak. Kekerasan dapat dihubungkan dengan kekuatan luluh atau kekuatan tarik logam, karena sewaktu indentasi, material di sekitar jejak mengalami deformasi plastis mencapai beberapa persen

regangan tertentu (Affiz, 2012). Kekerasan suatu bahan (baja) dapat diketahui dengan pengujian kekerasan memakai mesin uji kekerasan (*hardness tester*) menggunakan tiga metoda atau teknik yang umum dilakukan yaitu metoda *brinell*, *rockwell* dan *vickers* (Callister, 2007).

Test	Indenter	Shape of Indentation		Load	Formula for Hardness Number <sup>a</sup>
		Side View	Top View		
Brinell	10-mm sphere of steel or tungsten carbide			P	$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$
Vickers microhardness	Diamond pyramid			P	$HV = 1.854P/d^2$
Knoop microhardness	Diamond pyramid			P	$HK = 14.2P/a^2$
Rockwell and Superficial Rockwell	{ Diamond cone 1/8, 1/4, 1/2 in. diameter steel spheres			60 kg 100 kg } Rockwell 150 kg 15 kg } Superficial Rockwell 30 kg 45 kg	

Gambar 2.7. Kandungan karbon kayu dihitung dari data analisis ekstraktif (Matthews, 1993).

Metode pengujian kekerasan yang digunakan pada penelitian ini yaitu menggunakan metode *vickers*. Metode *vickers* ini berdasarkan pada penekanan oleh suatu gaya tekan tertentu oleh sebuah indenter berupa *pyramid diamond* terbalik dengan sudut puncak  $136^\circ$  ke permukaan logam yang akan diuji kekerasannya, dimana permukaan logam yang diuji ini harus rata dan bersih. Angka kekerasan *vickers* (VHN) didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan. Pengujian *vickers* dapat dilakukan tidak hanya pada benda yang lunak akan tetapi juga dapat dilakukan pada bahan yang keras. Bekas penekanan yang kecil pada pengujian *vickers* mengakibatkan kerusakan bahan percobaan relatif sedikit. Pada benda

kerja yang tipis atau lapisan permukaan yang tipis dapat diukur dengan gaya yang relatif kecil (Robbina, 2012).

Uji kekerasan *vickers* menggunakan penumbuk piramida intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besarnya sudut antara permukaan piramida yang saling berhadapan adalah  $136^\circ$ . Sudut ini dipilih karena nilai tersebut mendekati sebagian besar nilai perbandingan yang diinginkan antara diameter lekukan dan diameter bola penumbuk pada uji kekerasan *brinell*. Angka kekerasan piramida intan (DPH), atau angka kekerasan *vickers* (VHN atau VPH), didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan, prinsip pengukuran untuk kekerasan *micro vickers* dapat dilihat pada Gambar 2.7. Pada praktiknya luas ini dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diagonal jejak. VHN dapat ditentukan dari persamaan berikut:

$$VHN = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{L^2} = \frac{1,854 P}{L^2} \quad (2.5)$$

Keterangan:

$P$  = Beban yang digunakan (kg)

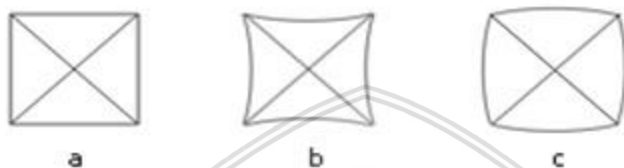
$L$  = Panjang diagonal rata-rata (mm)

$\theta$  = sudut antara permukaan intan yang berlawanan =  $136^\circ$  (Robbina, 2012).

Uji kekerasan *vickers* banyak dilakukan pada pekerjaan penelitian, karena metode tersebut memberikan hasil berupa skala kekerasan yang kontinu, untuk suatu beban tertentu dan digunakan pada logam yang sangat lunak, yakni DPH-nya 5 hingga logam yang sangat keras dengan DPH 1500. Hal-hal yang menghalangi keuntungan pemakaian metode *vickers* adalah uji kekerasan *vickers* tidak dapat digunakan untuk pengujian rutin karena pengujian tersebut lamban, memerlukan persiapan permukaan benda uji yang hati-hati, dan terdapat pengaruh kesalahan manusia yang besar pada penentuan panjang diagonal (Robbina, 2012).

Lekukan yang benar terbuat dari penumbuk piramida intan harus berbentuk bujur sangkar (Gambar 2.8.(a)). Akan tetapi, penyimpangan yang telah dijelaskan untuk uji *brinell* sering juga terdapat pada penumbuk piramida Gambar 2.8.. Lekukan bantal jarum pada Gambar 2.8.(b) adalah akibat terjadinya penurunan logam disekitar permukaan piramida yang datar. Keadaan demikian terdapat pada logam-logam yang dilunakan dan mengakibatkan pengukuran

panjang diagonal yang berlebihan. Lekukan berbentuk tong pada Gambar 2.8.(c) mengalami proses pengerjaan dingin. Bentuk demikian diakibatkan oleh penimbunan ke atas logam-logam disekitar permukaan penumbuk. Ukuran diagonal pada kondisi demikian akan menghasilkan luas permukaan kontak yang kecil, sehingga menimbulkan kesalahan angka kekerasan yang besar ada koreksi empiris untuk menanggulangi pengaruh hal di atas (Robbina, 2012).



Gambar 2.8. Tipe-tipe lekukan piramida intan (Robbina, 2012)

Keterangan:

- Lekukan yang sempurna.
- Lekukan bantal jarum (*pinchusion*) yang disebabkan oleh penurunan.
- Lekukan berbentuk tong yang disebabkan oleh penimbunan ke atas.

Pada penelitian ini alat uji yang digunakan adalah alat uji kekerasan *micro vickers* (Robbina, 2012).

### 2.7.2. Uji Struktur Mikro

Struktur mikro suatu bahan dapat diamati dengan berbagai cara bergantung pada informasi yang dibutuhkan. Mikroskop optik biasanya tersusun atas tiga bagian pokok : (i) pemantul (*illuminator*), untuk memantulkan permukaan bahan cuplikan, (ii) lensa obyektif, yang memberikan daya pisah, dan (iii) lensa mata (*eye piece*), untuk memperbesar bayangan yang terbentuk oleh lensa obyektif (R.M. dkk., 1996). Mikroskop optik ini digunakan untuk mengamati struktur mikro pada permukaan spesimen.

### 2.7.3. Uji Sudut Kontak

Pengukuran sudut kontak pada suatu bahan dilakukan untuk mengetahui sifat permukaan bahan, hidrofobik atau hidrofilik. Sifat hidrofobik merupakan suatu karakteristik bahan yang dalam keadaan terpolusi, bahan masih mampu bersifat menolak air yang jatuh ke permukaannya. Sudut kontak merupakan sudut yang dibentuk antara permukaan bahan uji dengan air destilasi yang ditetaskan ke permukaan bahan uji. Pengukuran ini menggunakan tetesan air 50  $\mu$ l yang ditetaskan pada permukaan bahan. Profil setetes air pada permukaan bahan uji diproyeksikan pada layar dan sudut kontak ( $180^\circ$  -  $360^\circ$ ) (Prasetyo, Berahim, dan Haryono, 2012). Ilustrasi pengukuran sudut kontak ditunjukkan oleh Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Ilustrasi pengukuran sudut kontak (Syakur, A, Sarjiya, dan Berahim, 2011).

Para peneliti telah mengklarifikasi sudut kontak dalam dua kelompok yaitu sudut lebih kecil dari  $90^\circ$  bersifat basah (hidrofilik) dan lebih dari  $90^\circ$  disebut hidrofobik yang menolak air (Wenten, Himma, Anisah, dan Prasetya, 2015). Nilai sudut kontak tergantung pada beberapa faktor yakni struktur kimia, kehalusan permukaan, pori-pori yang terisi cairan, dan keberadaan zat asing pada permukaan (Prasetyo dkk., 2012).



**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

#### 3.1.1. Waktu Pelaksanaan

Penelitian ini dilakukan selama kurang lebih lima bulan, dimulai dari bulan November 2017 sampai dengan bulan April 2018.

#### 3.1.2. Tempat Pelaksanaan

Penelitian ini dilakukan di beberapa tempat, yaitu Laboratorium Material, Laboratorium Biofisika, Laboratorium Plasma, dan Laboratorium Teknologi Sensor, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya serta Laboratorium Pengujian Bahan, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang.

### 3.2. Alat dan Bahan

#### 3.2.1. Alat-alat

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu: *furnace* (tanur) tipe L471, pemotong logam Fasti-Werk 5632, mesin pemanas tipe KL.2.51.015, mortar, ayakan 50 mesh dan 150 mesh, *hairdryer*, loyang, gelas ukur, *ultrasonic cleane serial no: 0212016219r*, *magnetic stirrer* tipe *Cole-Parmer*, sendok, plastik *ziplock*, label, spidol, penjepit/pencapit, aluminium foil, tisu, kertas pH, kertas gosok nomor 100, 320, 500, 1000, 2000, dan 5000, bak instrumen, wadah keramik, corong gelas, sarung tangan, *magnetic stir bars*, kertas saring, masker, pipet tetes, baut, mur, alat uji *micro vickers hardness tester* ESEWAY, mikroskop optik Olympus BX51, dan alat uji sudut kontak.

#### 3.2.2. Bahan-bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu: baja AISI 316L, kayu mahoni, larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  1,5%, larutan HCl 37%,

larutan  $\text{HNO}_3$ , akuades, tanah liat, pasta gigi, autosol, dan larutan sabun.

### 3.3. Metode Penelitian

#### 3.3.1. Persiapan Spesimen Uji

Pertama-tama, baja AISI 316L dipotong menggunakan mesin pemotong dengan ukuran 2 cm x 2 cm x 0,1 cm sebanyak 16 buah. Setelah spesimen tersebut terpotong, dilakukan proses pemilihan spesimen, spesimen dipilih yang tidak memiliki banyak goresan. Hal ini dilakukan agar struktur mikro tampak jelas pada saat diuji menggunakan mikroskop optik. Selanjutnya pada setiap sisi spesimen diampas dengan kekasaran amplas mulai dari yang kasar hingga halus. Proses ini bertujuan agar permukaan spesimen rata, sehingga saat pengujian dengan mikroskop optik hasil gambar tampak fokus. Kemudian, dilakukan proses pencucian spesimen menggunakan larutan sabun. Proses pencucian ini dilakukan menggunakan gelas ukur. Gelas ukur diisi air dan diberi sedikit larutan sabun. Setelah itu, spesimen diletakkan ke dalam gelas ukur dan gelas ukur dimasukkan ke dalam *ultrasonic cleaner*. Selanjutnya, waktu diatur selama kurang lebih 5 menit, dengan cara yang sama proses pencucian dilakukan kembali namun dengan menggunakan akuades. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan adanya sisa-sisa sabun dan membuat spesimen menjadi steril dari kontaminan. Terakhir, spesimen dikeringkan menggunakan *hairdryer*.



Gambar 3.1. Baja AISI 316L berukuran 2 cm x 2 cm x 0,1 cm





Gambar 3.2. Proses pencucian baja menggunakan *ultrasonic cleaner*

### 3.3.2. Pemurnian Karbon

Pertama-tama, limbah kayu pohon mahoni dipotong kecil-kecil agar lebih mudah diproses pada tahap selanjutnya. Kemudian, kayu di oven pada suhu  $120^{\circ}\text{C}$  selama kurang lebih 90 menit atau sampai kering. Pengovenan ini bertujuan untuk menghilangkan kadar air dalam kayu. Selanjutnya, kayu mahoni dibungkus dengan aluminium foil dan dilakukan proses karbonisasi menggunakan tanur pada suhu  $500^{\circ}\text{C}$  selama 2 jam. Karbonisasi bertujuan untuk menaikkan kadar karbon padat dan menghilangkan zat terbang (*volatile matter*) yang terkandung dalam kayu mahoni. Arang hasil karbonisasi kemudian ditumbuk hingga halus dan disaring menggunakan saringan dengan beberapa ukuran mesh, yakni 50 mesh dan 150 mesh. Serbuk karbon yang didapatkan kemudian direndam dengan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  1,5% selama 24 jam dengan perbandingan 40 gram karbon untuk 200 ml  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  1,5%. Perendaman ini bertujuan untuk membersihkan arang dari zat pengotor sehingga didapatkan karbon yang murni. Setelah itu arang dinetralkan dengan dicampur akuades dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer*. Setelah netral, dilakukan penyaringan menggunakan kertas lakmus kasar hingga didapatkan endapan arang kayu mahoni. Lalu, endapan tersebut dikeringkan dalam oven pada suhu  $120^{\circ}\text{C}$  selama kurang lebih 2 jam. Setelah kering, karbon tersebut dimasukkan kedalam plastik klip.



Gambar 3.3. Hasil proses karbonisasi



Gambar 3.4. Proses penetralan menggunakan *magnetic*



Gambar 3.5. Proses penyaringan karbon

### 3.3.3. Karburasi

Spesimen yang sudah dicuci selanjutnya dimasukkan ke dalam keramik. Keramik digunakan karena memiliki sifat yang tahan terhadap suhu tinggi. Saat pengepakan, seluruh permukaan baja harus tertutup oleh karbon. Lalu, wadah keramik ditutup rapat dan diberi tanah liat pada sela-sela penutupnya. Hal ini dilakukan agar tidak ada udara yang masuk, sehingga mengurangi terjadinya oksidasi. Kemudian, wadah keramik dimasukkan ke dalam tanur. Tanur dinyalakan dan diatur suhunya. Penelitian ini menggunakan suhu 700°C, 750°C, dan 800°C, 850°C. Saat suhunya sudah mencapai suhu yang diinginkan, waktu karburasi mulai dihitung. Percobaan ini menggunakan variasi waktu, yakni 8 jam dan 16 jam. Selain itu, juga digunakan variasi ukuran karbon, yaitu yang lolos ayakan 50 mesh dan 150 mesh.



Gambar 3.6. Posisi baja dalam wadah karburasi



Gambar 3.7. Posisi keramik dalam tanur

### 3.3.4. Karakterisasi

#### a. Uji Kekerasan



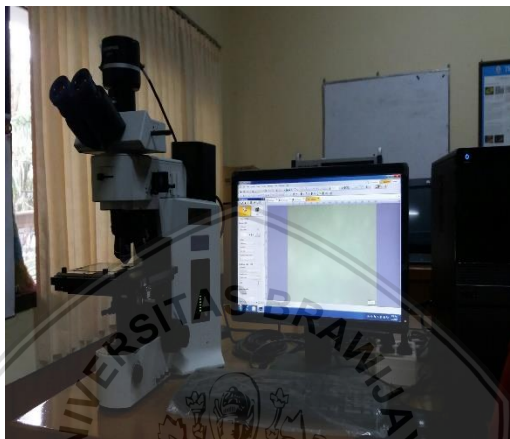
Gambar 3.8. Alat uji kekerasan *micro vickers hardness tester* ESEWAY

Uji kekerasan dilakukan dengan menggunakan alat uji kekerasan *micro vickers hardness tester* ESEWAY. Spesimen diletakkan dibawah indenter dan diberi penekanan selama 15 detik dengan beban sebesar 300 gf. Selanjutnya, dilakukan pengukuran diameter 1 dan diameter 2 berdasarkan gambar piramida hasil indenter yang terbentuk pada layar. Nilai hasil pengukuran tersebut dihitung secara langsung menggunakan alat. Pengambilan data pada uji kekerasan dilakukan sebanyak 3 kali pada setiap titik yang berbeda dan diambil rata-ratanya.

#### b. Uji Struktur Mikro

Spesimen yang telah di karburasi selanjutnya diamplas hingga permukaannya tampak mengkilat. Kemudian dilakukan proses etsa dengan tujuan membuka pori-pori logam, sehingga struktur mikro dari spesimen dapat terlihat jelas di mikroskop. Proses etsa dimulai dengan mencampurkan tiga jenis cairan, yaitu HCl 37%, HNO<sub>3</sub> dan akuades dengan perbandingan 2:1:1. Selanjutnya spesimen dicuci dengan

akuades untuk menghilangkan kotoran-kotoran yang menempel dan dikeringkan menggunakan *hairdryer*. Spesimen dicelupkan ke dalam cairan etsa selama 90 detik, lalu segera dicuci dan dikeringkan kembali. Setelah itu, struktur mikro dari spesimen dilihat menggunakan mikroskop optik Olympus BX51 dengan perbesaran 500x.



Gambar 3.9. Mikroskop optik Olympus BX51

#### c. Uji Sudut kontak



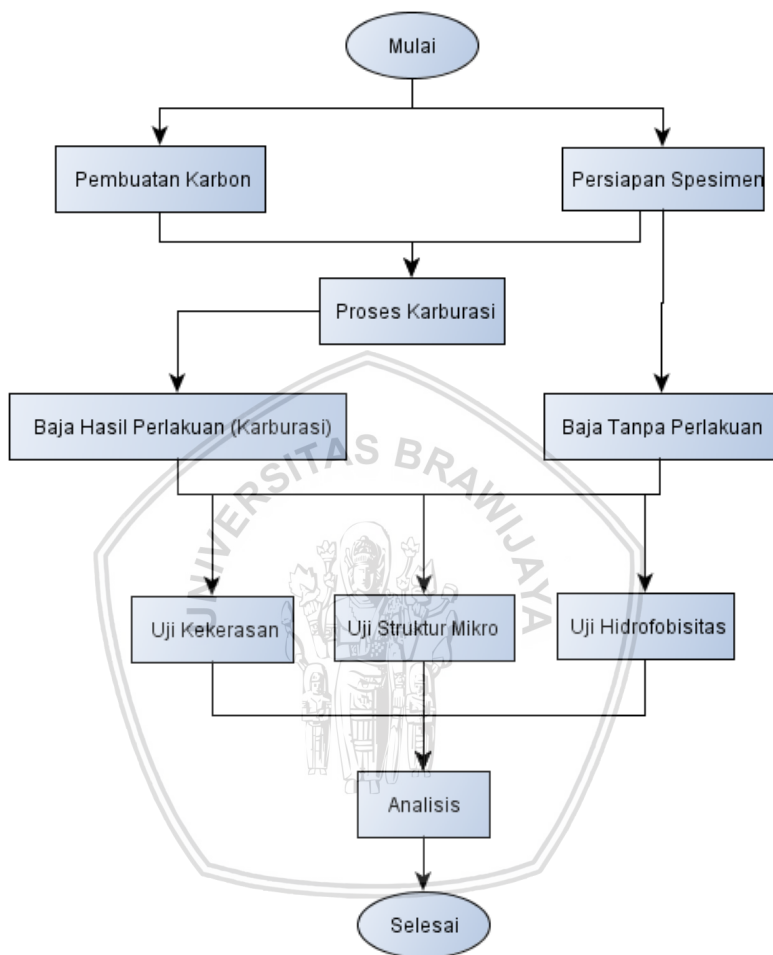
Gambar 3.10. Alat uji sudut kontak

Uji sudut kontak dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui sifat hidrofobisitas bahan. Uji ini diawali dengan membersihkan

spesimen menggunakan *ultrasonic cleaner* untuk menghilangkan kotoran pada spesimen. Selanjutnya spesimen dimasukkan pada alat uji dan program sudut kontak dijalankan. Program yang telah terbuka dilakukan pengaturan untuk pencahayaan, fokus, dan juga posisi agar permukaan spesimen tampak segaris. Setelah itu, permukaan spesimen di tetesi dengan akuades sebanyak 20  $\mu$ l dan hasil penetesan difoto untuk mengetahui besarnya sudut yang terbentuk. Pengambilan data dilakukan sebanyak 3 kali dan diambil rata-ratanya. Hasil foto diedit menggunakan paint dan besarnya sudut kontak dihitung menggunakan aplikasi *Contact Angle Measurement*.



### 3.4. Diagram Alir



Gambar 3.11. Diagram alir penelitian



**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**



## BAB IV PEMBAHASAN

### 4.1. Pengaruh Karburasi terhadap Visualisasi Baja AISI 316L







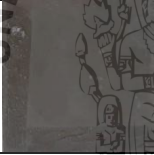
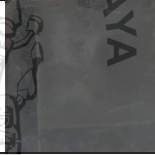
Penelitian ini bertujuan untuk melakukan rekayasa pada permukaan baja AISI 316L melalui proses karburasi. Karburasi adalah suatu proses penambahan unsur karbon pada permukaan suatu komponen secara difusi untuk memperbaiki sifat fisis dan mekanisnya. Sumber karbon yang digunakan dalam penelitian ini adalah arang kayu mahoni. Spesimen yang digunakan pada penelitian ini yaitu baja AISI 316L. Baja AISI 316L merupakan baja dengan kandungan karbon yang rendah sehingga memiliki ketahanan korosi, tetapi mempunyai kekerasan yang rendah.

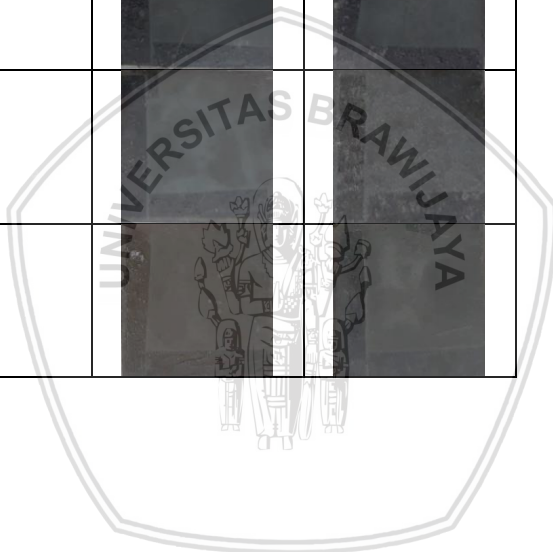


Gambar 4.1. Baja AISI 316L



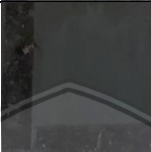

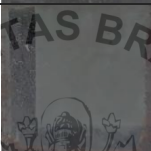

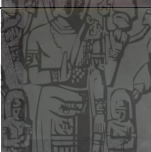

Baja AISI 316L ini dipotong dengan ukuran 2 cm x 2 cm x 0,1 cm. Terdapat beberapa variasi perlakuan yang diberikan kepada baja ini pada proses karburasi, yaitu perbedaan suhu, waktu, dan ukuran karbon. Variasi suhu yang digunakan yaitu 700°C, 750°C, 800°C, dan 850°C. Variasi waktu tahan yang digunakan yaitu 8 jam dan 16 jam, serta variasi ukuran karbon yang digunakan yaitu ukuran karbon yang lolos ayakan 50 mesh dan 150 mesh, sehingga terdapat 16 perlakuan, dan masing-masing perlakuan menggunakan 3 buah spesimen.

Tabel 4.1. Pengaruh karburasi terhadap visualisasi baja AISI 316L pada ukurasn karbon yang lolos ayakan 50 mesh

Suhu (°C)	Waktu tahan (jam)	
	8	16
700		
750		
800		
850		



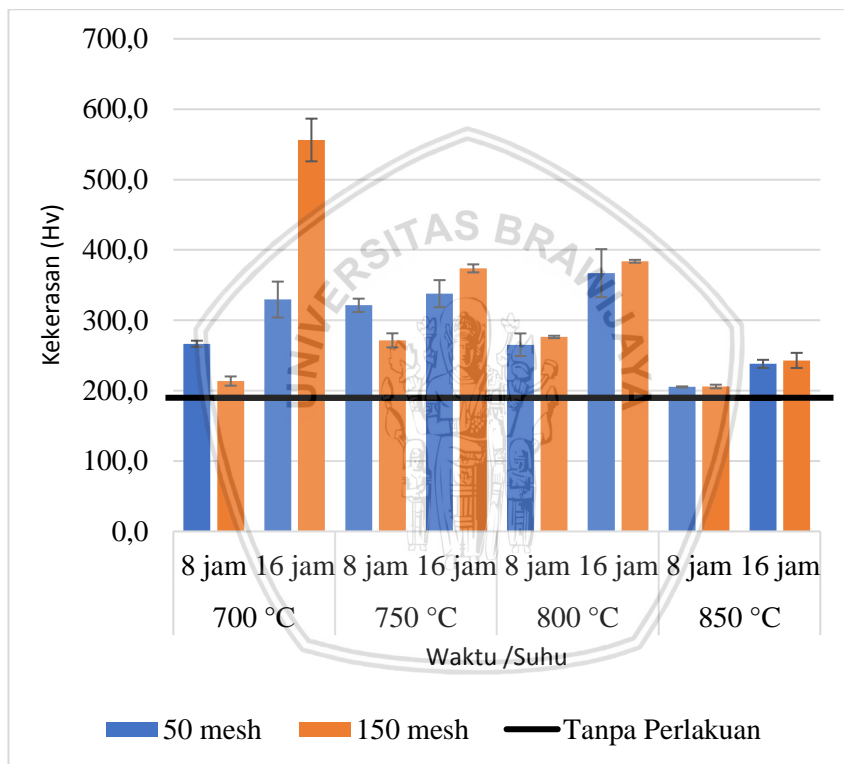
Tabel 4.2. Pengaruh karburasi terhadap visualisasi Baja AISI 316L pada ukuran karbon yang lolos ayakan 150 mesh

Suhu	Waktu tahan (jam)	
	8	16
700		
750		
800		
850		

Berdasarkan Gambar 4.1., Tabel 4.1., dan Tabel 4.2., terlihat pada sisi kiri dan bawah terdapat bekas kertas tempel yang semula digunakan untuk menentukan posisi dari baja. Baja AISI 316L tanpa perlakuan memiliki visualisasi yang terang, sedangkan baja AISI 316L hasil karburasi memiliki visualisasi yang lebih gelap. Perubahan warna menjadi lebih gelap ini menandakan bahwa telah terjadi adsorpsi karbon pada permukaan, sehingga kadar karbon pada permukaan meningkat. Berdasarkan Tabel 4.1. dan Tabel 4.2. juga terlihat bahwa dilihat dari variasi suhu, waktu tahan, dan ukuran karbon tidak terlihat pengaruh yang signifikan pada penampakan baja hasil karburasi.

## 4.2. Pengaruh Karburasi terhadap Kekerasan Baja AISI 316L

Setelah dilakukan proses karburasi dengan variasi suhu yaitu 700°C, 750°C, 800°C, 850°C dengan waktu tahan 8 jam dan 16 jam, serta ukuran karbon yang lolos ayakan 50 mesh dan 150 mesh dilakukan pengujian menggunakan alat uji kekerasan *micro vickers hardness tester* ESEWAY dan didapatkan nilai kekerasan pada baja AISI 316L hasil karburasi sebagai berikut:



Gambar 4.2. Grafik hasil pengujian kekerasan baja AISI 316L hasil karburasi

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan, diketahui bahwa proses karburasi ini dapat meningkatkan kekerasan seluruh spesimen. Nilai kekerasan pada baja AISI 316L tanpa perlakuan adalah 189,8 HV<sub>3</sub> dan

nilai tersebut meningkat setelah dilakukan proses karburasi dengan variasi suhu, waktu tahan, dan juga ukuran karbon. Meningkatnya nilai kekerasan menunjukkan bahwa terdapat atom karbon yang terdifusi ke dalam baja. Ketika diberikan beban, atom-atom karbon yang telah mengisi bagian interstisi akan menghambat terjadinya dislokasi. Hal ini dikarenakan adanya karbida yang terdifusi di sepanjang batas butir.

Berdasarkan data uji kekerasan, nilai kekerasan baja pada waktu tahan 8 jam dengan ukuran karbon yang lolos ayakan 50 mesh mengalami peningkatan pada suhu  $750^{\circ}\text{C}$ , akan tetapi mengalami penurunan pada suhu  $800^{\circ}\text{C}$  dan  $850^{\circ}\text{C}$ . Nilai kekerasan baja pada waktu tahan 16 jam dengan ukuran karbon lolos ayakan 50 mesh terus mengalami peningkatan pada setiap kenaikan suhunya, akan tetapi turun pada suhu  $850^{\circ}\text{C}$ . Hal ini serupa dengan nilai kekerasan baja pada waktu tahan 8 jam dengan ukuran karbon yang lolos ayakan 150 mesh yang terus mengalami peningkatan, akan tetapi turun di  $850^{\circ}\text{C}$ . Baja pada waktu tahan 16 jam dengan ukuran karbon yang lolos ayakan 150 mesh memiliki nilai kekerasan tertinggi dibandingkan dengan yang lain, akan tetapi nilai kekerasannya bersifat acak pada setiap kenaikan suhu.

Selain itu, menurut Kuswanto (2010) semakin tinggi suhu maka difusivitas akan semakin tinggi, karena atom mempunyai energi termal yang semakin tinggi dan dengan demikian probabilitas untuk diaktifkan hingga melampaui hambatan antara atom juga lebih besar. Hal ini menyebabkan jumlah karbon yang masuk ke dalam rongga-rongga permukaan spesimen dengan berdifusi semakin banyak sehingga akan meningkatkan kekerasan pada permukaan spesimen. Menurut Suryanto (2007), suhu karburasi yang semakin tinggi menyebabkan unsur karbon (C) yang memiliki sifat meningkatkan kekerasan baja akan lebih mudah untuk masuk ke dalam spesimen. Proses pemanasan akan menghasilkan energi. Semakin tinggi suhu maka energi yang dimiliki atom karbon semakin besar dan membuat pergerakannya semakin bebas. Semakin tinggi suhu, maka atom-atom karbon ini akan lebih mudah menyisip diantara atom-atom pada permukaan baja.

Penjelasan ini sudah sesuai dengan hasil karburasi pada waktu tahan 8 jam dengan ukuran karbon lolos ayakan 150 mesh dan waktu

tahan 16 jam dengan ukuran karbon lolos ayakan 50 mesh, dimana setiap kenaikan suhu, kekerasan akan semakin meningkat. Akan tetapi, berdasarkan grafik pada Gambar 4.2. dapat dilihat jika nilai kekerasan pada suhu 850°C paling rendah. Hal ini terlihat dari struktur mikro pada Gambar 4.4. (d) dan Gambar 4.7. (d) yang ditandai dengan semakin menipisnya interstisi karbon pada batas butir pada suhu 850°C. Berdasarkan pengaruh suhu, pada grafik dapat dilihat bahwa semakin tinggi suhu tidak selalu berpengaruh terhadap semakin kerasnya baja hasil karburasi. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kekerasan saat proses karburasi berlangsung, yaitu karbon yang tidak merata terdifusi pada spesimen dan peletakan spesimen pada keramik.

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.2. juga terlihat bahwa baja hasil karburasi dengan waktu tahan 16 jam memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan waktu tahan 8 jam. Hal ini sesuai dengan literatur, dimana Wattimena dan Louhenapessy (2014) menyatakan bahwa semakin lama waktu tahan pada proses karburasi, maka semakin banyak proses penyerapan karbon yang terjadi. Waktu tahan akan membuat atom-atom karbon masuk lebih dalam. Hal ini sesuai dengan turunan hukum kedua Fick yang menyatakan bahwa difusi berbanding lurus dengan akar dari waktu. Baja dengan waktu tahan 16 jam memiliki kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan waktu tahan 8 jam. Lamanya waktu karburasi mengakibatkan semakin banyak karbon yang terdifusi ke dalam permukaan baja. Hal ini menyebabkan baja yang dihasilkan semakin keras.

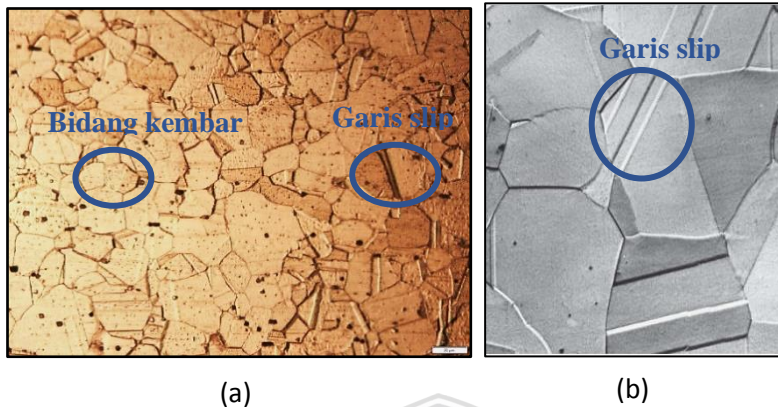
Berdasarkan grafik pada Gambar 4.2. terlihat bahwa secara keseluruhan ukuran karbon yang lolos ayakan 150 mesh memiliki kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan ukuran karbon yang lolos ayakan 50 mesh. Hal ini disebabkan karena semakin kecil ukuran karbon, maka kontak butir karbon dengan permukaan baja akan semakin besar. Ukuran serbuk yang kecil meningkatkan efektifitas dalam proses karburasi. Hal tersebut akan mempermudah dan mempercepat terjadinya difusi, sehingga akan berpengaruh terhadap nilai kekerasan baja hasil karburasi.

Nilai kekerasan tertinggi terjadi pada suhu 700°C dengan waktu tahan 16 jam dan ukuran karbon yang lolos ayakan 150 mesh yaitu sebesar 293%, sedangkan nilai kekerasan terendah terjadi pada suhu

850°C dengan waktu tahan 8 jam dan ukuran karbon yang lolos ayakan 50 mesh yaitu sebesar 108,2%. Nilai kekerasan yang sangat tinggi pada suhu 700°C, waktu tahan 16 jam, dan ukuran karbon lolos ayakan 150 mesh didukung oleh data struktur mikro. Setelah dilakukan pengukuran ukuran butir, terlihat bahwa pada suhu ini memiliki ukuran butir yang relatif kecil. Ukuran butir terbanyak pada suhu ini adalah 12,5  $\mu\text{m}$  sebanyak 28%.

#### **4.3. Pengaruh Karburasi terhadap Struktur Mikro dan Ukuran Butir Baja AISI 316L**

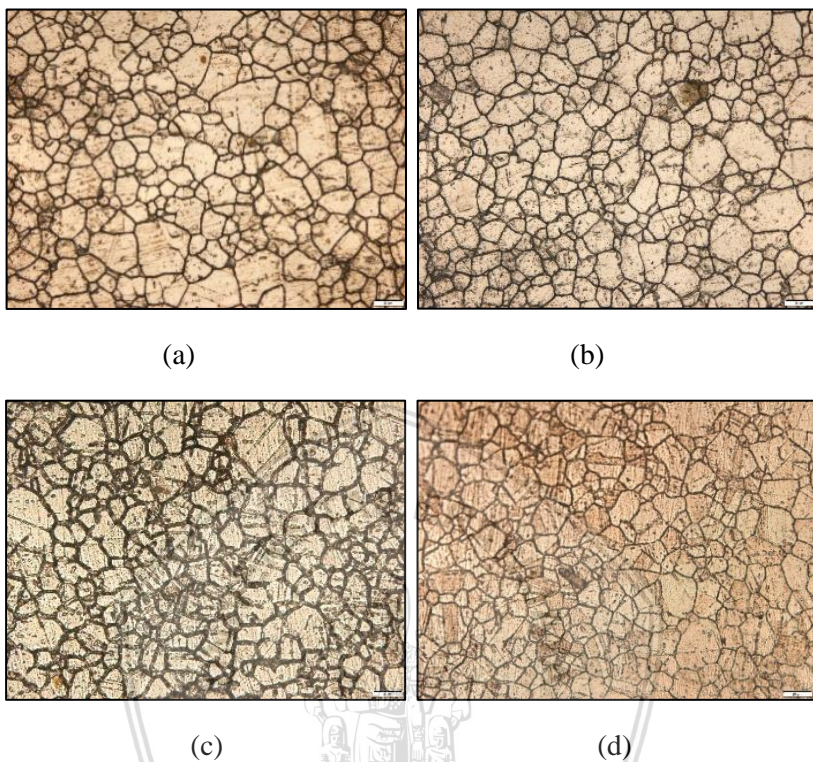
Karburasi ini bertujuan untuk meningkatkan kekerasan permukaan baja AISI 316L. Kekerasan material bergantung pada struktur mikronya. Struktur mikro yang terbentuk ditandai oleh adanya fase, proporsinya, dan cara penyebarannya atau pengaturannya. Struktur mikro yang terbentuk dari hasil karburasi bergantung pada unsur-unsur paduan, konsentrasi dan perlakuan panas dari paduan seperti suhu, waktu pemanasan dan laju pendinginan yang digunakan (Callister, 2007). Oleh karena itu, diperlukan pengujian struktur mikro menggunakan mikroskop optik Olympus dengan perbesaran 500x pada permukaan baja untuk melihat karakteristik yang terjadi. Berikut adalah struktur mikro baja AISI 316L tanpa perlakuan:



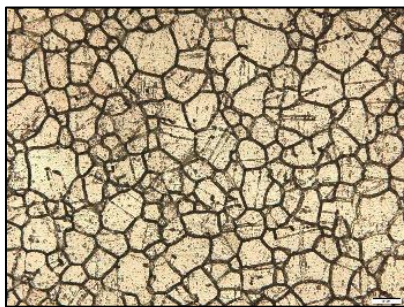
Gambar 4.3. (a) Hasil uji mikro struktur baja AISI 316L tanpa perlakuan. (b) Struktur mikro baja austenit (William D. Callister, 2007).

Terlihat pada Gambar 4.3. (a) dan Gambar 4.3.(b) butir austenit pada baja AISI 316L ditandai dengan adanya bidang kembar dan garis slip (Callister, 2007). Setelah dilakukan proses karburasi dan dilakukan pengujian pada sturktur mikro, didapatkan gambar struktur mikro pada baja hasil karburasi seperti berikut:





Gambar 4.4. Struktur mikro baja AISI 316L hasil karburasi dengan ukuran karbon lolos ayakan 50 mesh, waktu tahan 8 jam, dan suhu  
a) 700°C b) 750°C c) 800°C d) 850°C



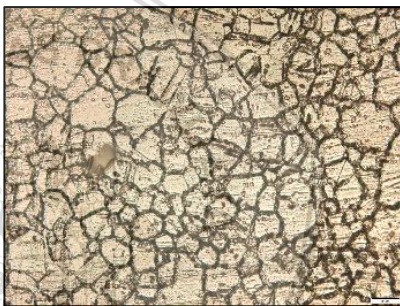
(a)



(b)

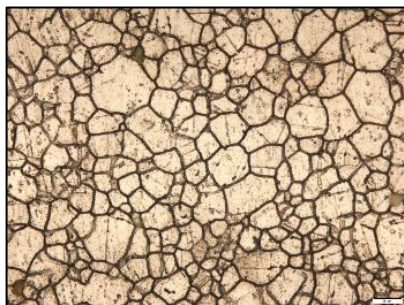


(c)

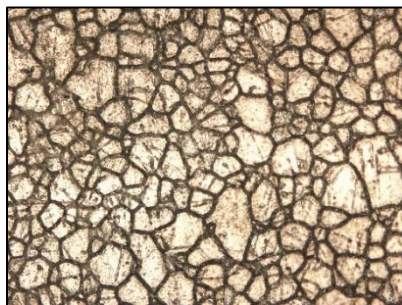


(d)

Gambar 4.5. Struktur mikro baja AISI 316L hasil karburasi dengan ukuran karbon lolos ayakan 50 mesh, waktu tahan 16 jam, dan suhu  
a)700°C b)750°C c) 800°C d)850°C



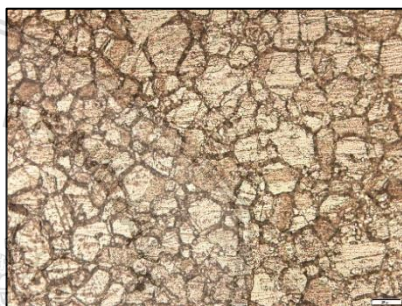
(a)



(b)



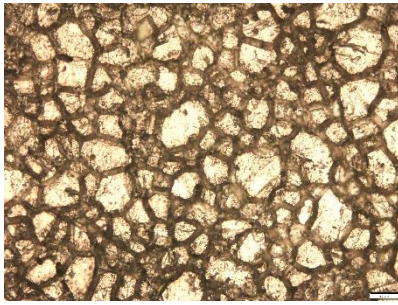
(c)



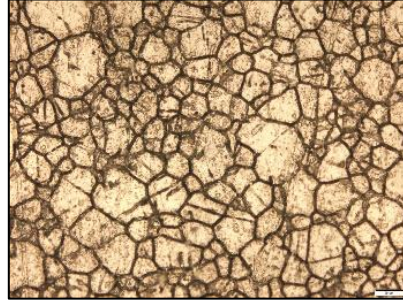
(d)

Gambar 4.6. Struktur mikro baja AISI 316L hasil karburasi dengan ukuran karbon lolos ayakan 150 mesh, waktu tahan 8 jam, dan suhu a)700°C b)750°C c) 800°C d)850°C

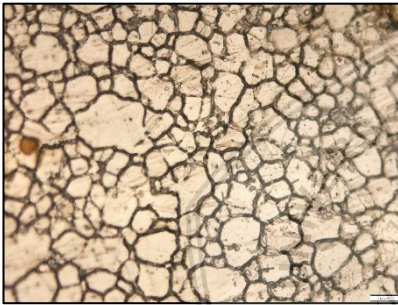




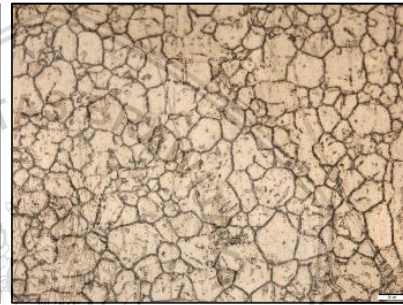
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.7. Struktur mikro baja AISI 316L hasil karburasi dengan ukuran karbon lolos ayakan 150 mesh, waktu tahan 16 jam, dan suhu a)700°C b)750°C c) 800°C d)850°C

Berdasarkan Gambar 4.4., Gambar 4.5., Gambar 4.6., dan Gambar 4.7 terlihat struktur mikro baja hasil karburasi memiliki bentuk dan ukuran yang tidak seragam. Ketidakteraturan ini dipengaruhi oleh variasi yang diberikan pada setiap perlakuan. Selain itu, terdapat perbedaan warna pada hasil struktur mikro. Hal ini disebabkan karena pencahayaan mikroskop yang digunakan berbeda. Baja AISI 316L memiliki lapisan  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . Lapisan ini merupakan lapisan pasif yang berfungsi sebagai penghalang proses difusi karbon ke permukaan baja. Pemanasan dengan suhu yang cenderung tinggi ( $>500^\circ\text{C}$ ) menyebabkan lapisan ini dapat ditembus oleh karbon. Hal

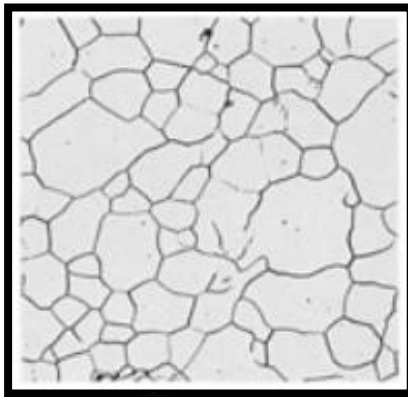
ini disebabkan karena pada suhu yang tinggi, dihasilkan energi termal yang cukup untuk terjadinya difusi karbon pada permukaan baja.

Proses pemanasan akan menghasilkan energi. Energi tersebut menyebabkan atom pada baja bergetar lebih cepat, sehingga jarak antar atom dalam baja semakin melebar. Selain itu, energi yang tinggi menyebabkan atom karbon juga bergetar, sehingga memiliki pergerakan yang bebas. Atom karbon yang bergerak bebas ini memiliki ikatan antar atom yang lemah, sehingga atom karbon akan mudah bergerak masuk dan menyisip diantara atom-atom pada permukaan baja dan berpindah-pindah dalam kisi mengisi bagian interstisi. Berdasarkan persamaan Arrhenius, semakin tinggi suhu, maka difusivitasnya akan semakin tinggi. Berdasarkan Gambar 4.4., Gambar 4.5., Gambar 4.6., dan Gambar 4.7. tersebut terlihat bahwa seiring dengan kenaikan suhu, maka interstisi karbon pada batas butirnya semakin menebal seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.3. Proses pemanasan akan menghasilkan energi. Semakin tinggi suhu maka energi yang dimiliki atom karbon semakin besar dan membuat pergerakannya semakin bebas. Semakin tinggi suhu, maka atom-atom karbon ini akan lebih mudah berdifusi diantara atom-atom pada permukaan baja. Difusi lebih cepat terjadi pada batas butir dibandingkan dengan butir. Batas butir adalah daerah transisi yang memiliki ruang interstisi karbon yang luas sehingga karbon semakin mudah terdifusi pada batas butir. Selain itu berdasarkan pengujian kekerasan, semakin tebal batas butir, maka kekerasannya cenderung naik. Akan tetapi, pada suhu  $850^{\circ}\text{C}$  terjadi penipisan interstisi karbon pada batas butir. Hal ini didukung dengan nilai kekerasannya yang rendah. Ketebalan interstisi tertinggi didapatkan pada perlakuan suhu  $700^{\circ}\text{C}$ , waktu tahan 16 jam, dan ukuran karbon lolos ayakan 150 mesh dengan ketebalan mencapai  $4,8\text{ }\mu\text{m}$  dan memiliki nilai kekerasan tertinggi, yaitu  $556,2\text{ HV}_3$ . Ketebalan interstisi terendah didapatkan pada perlakuan suhu  $850^{\circ}\text{C}$ , waktu tahan 8 jam, dan ukuran karbon lolos ayakan 50 mesh dengan ketebalan  $0,7\text{ }\mu\text{m}$  dan memiliki nilai kekerasan terendah, yaitu  $205,3\text{ HV}_3$ .

Tabel 4.3. Ketebalan interstisi karbon pada batas butir

Ayakan (mesh)	Waktu tahan (jam)	Suhu (°C)	Tebal batas butir ( $\mu\text{m}$ )
50	8	700	1,3
		750	1,4
		800	3,2
		850	0,7
	16	700	1,9
		750	2,4
		800	3,4
		850	2,0
150	8	700	1,8
		750	2,4
		800	2,7
		850	1,7
	16	700	4,8
		750	2,1
		800	3,1
		850	1,2

Berdasarkan Gambar 4.4., Gambar 4.5., Gambar 4.6., dan Gambar 4.7. terlihat bahwa baja AISI 316L yang telah dikarburasi pada semua variasi suhu, waktu tahan, dan ukuran karbon telah mengalami perubahan fase. Perubahan fase yang terjadi yaitu dari asutinit menjadi ferit. Ferit mempunyai kandungan karbon yang rendah sehingga memiliki sifat yg lunak dan ulet. Ferit dicirikan dengan butir terang berwarna putih dan memiliki struktur kristal BCC. Berikut adalah fase ferit berdasarkan LAMET, Aaronson, Abraham, dkk., (1985).



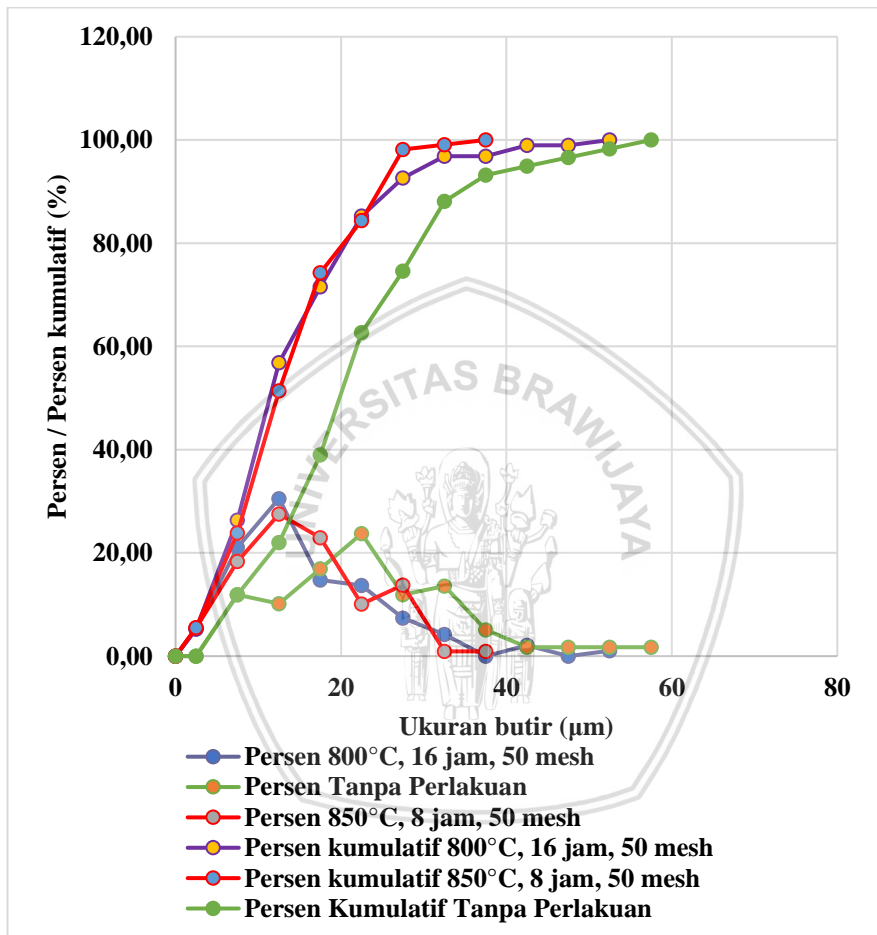
Gambar 4.8. Fase ferit (LAMET dkk., 1985)

Selain itu, terlihat pula bahwa terbentuk karbida pada batas butir. Sementit yang merupakan besi karbida dicirikan dengan garis gelap pada batas butir dan memiliki kekerasan yang tinggi akan tetapi bersifat rapuh. Pada pertumbuhan sementit diperlukan banyak karbon yang diperoleh dari austenit disekitarnya. Hal ini menyebabkan, austenit menjadi kekurangan karbon dan berubah menjadi ferit.

Fase austenit mempunyai batas kelarutan sebesar 2,11%. Atom yang berdifusi lama-kelamaan akan melewati batas kelarutan ini sehingga terjadi perubahan fase dari austenit menjadi ferit yang mempunyai sel satuan BCC (*Body-Centered Cubic*) dan batas kelarutan karbon 0,022%. Pendinginan lambat akan memberikan kesempatan pada karbon untuk keluar dari sel FCC sehingga semakin mudah mengalami perubahan ke sel BCC, sedangkan karbon yang keluar menuju batas butir akan membentuk besi karbida.

Selain mengamati perubahan fase yang terbentuk, melalui struktur mirko juga dapat diamati perubahan ukuran butir yang terjadi. Pertumbuhan butir adalah meningkatnya ukuran butir (kristal) dalam bahan pada suhu tinggi. Ukuran butir memiliki pengaruh terhadap sifat mekanis baja AISI 316L. Semakin kecil ukuran butir, maka kekerasannya akan semakin meningkat. Hal ini karena semakin kecil ukuran butir, maka akan semakin banyak jumlah butir yang terbentuk, yang berarti area batas butir semakin banyak. Batas butir yang semakin banyak ini akan semakin menghambat gerak dislokasi

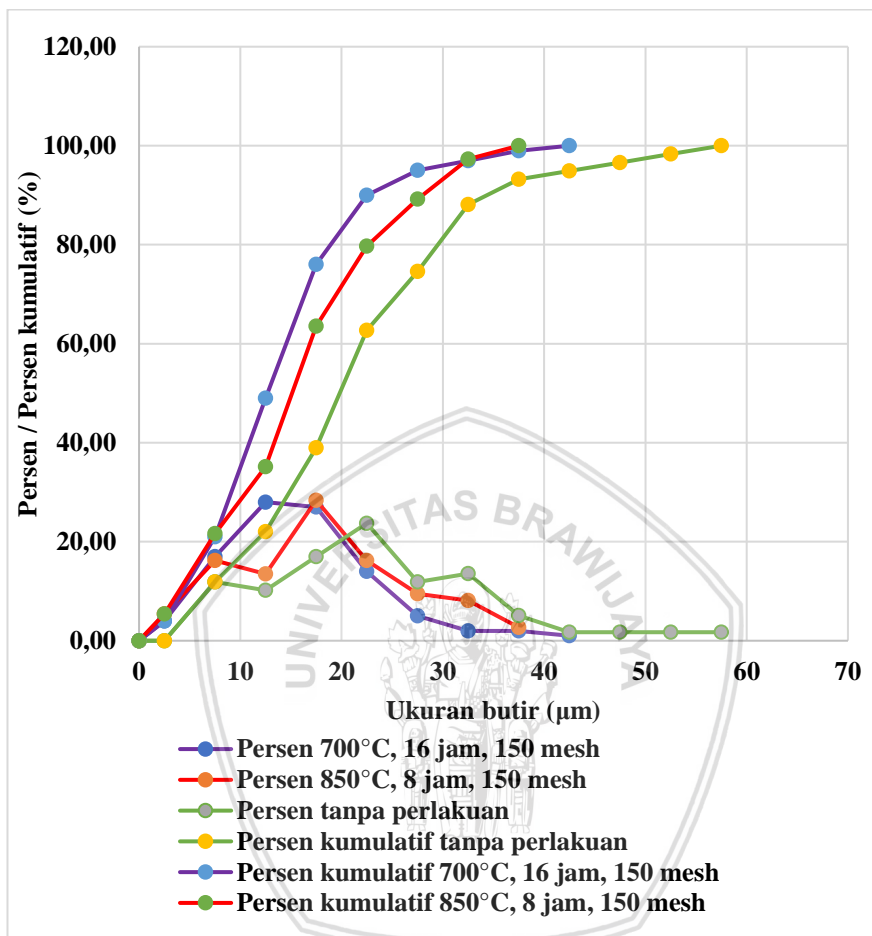
sehingga logam akan semakin keras. Berikut adalah grafik distribusi ukuran butir pada proses karburasi menggunakan ukuran karbon lolos ayakan 50 mesh.



Gambar 4.9. Grafik distribusi ukuran butir baja AISI 316L sebelum dan sesudah dilakukan proses karburasi pada ukuran karbon lolos ayakan 50 mesh



Grafik pada Gambar 4.9. menunjukkan distribusi ukuran butir pada baja tanpa perlakuan, baja hasil karburasi pada suhu 800°C, waktu tahan 16 jam, dan ukuran karbon yang lolos ayakan 50 mesh dengan nilai kekerasan tertinggi, dan baja hasil karburasi suhu 850°C, waktu tahan 8 jam, dan ukuran karbon yang lolos ayakan 50 mesh dengan nilai kekerasan terendah. Butir pada baja tanpa perlakuan memiliki jumlah ukuran butir dibawah 15  $\mu\text{m}$  sebanyak 22,03%. Butir pada baja hasil karburasi pada suhu 800°C, waktu tahan 16 jam, dan ukuran karbon yang lolos ayakan 50 mesh memiliki jumlah ukuran butir dibawah 15  $\mu\text{m}$  sebanyak 56,84%. Butir pada baja hasil karburasi pada suhu 850°C, waktu tahan 8 jam, dan ukuran karbon yang lolos ayakan 50 mesh memiliki jumlah ukuran butir dibawah 15  $\mu\text{m}$  sebanyak 51,38%. Semakin kecil ukuran butir, maka kekerasannya akan semakin meningkat. Hal ini dikarenakan semakin kecil ukuran butir, maka akan semakin banyak jumlah butir yang terbentuk, yang berarti area batas butir semakin banyak. Batas butir yang semakin banyak ini akan semakin menghambat gerak dislokasi sehingga logam akan semakin keras. Butir pada baja hasil karburasi pada suhu 800°C, waktu tahan 16 jam, dan ukuran karbon yang lolos ayakan 50 mesh memiliki jumlah ukuran butir dibawah 15  $\mu\text{m}$  sebanyak 56,84%, lebih banyak dibandingkan baja hasil karburasi tanpa perlakuan, ataupun baja hasil karburasi pada suhu 850°C, waktu tahan 8 jam, dan ukuran karbon yang lolos ayakan 50 mesh. Hal inilah yang menyebabkan kekerasannya lebih tinggi.



Gambar 4.10. Grafik distribusi ukuran butir baja AISI 316L sebelum dan sesudah dilakukan proses karburasi pada ukuran karbon lolos ayakan 150 mesh

Grafik pada Gambar 4.10. menunjukkan distribusi ukuran butir pada baja tanpa perlakuan, baja hasil karburasi pada suhu 700°C, waktu tahan 16 jam, dan ukuran karbon yang lolos ayakan 150 mesh dengan nilai kekerasan tertinggi, dan baja hasil karburasi suhu 850°C, waktu tahan 8 jam, dan ukuran karbon yang lolos ayakan 150 mesh dengan

nilai kekerasan terendah. Butir pada baja tanpa perlakuan memiliki jumlah ukuran butir dibawah  $15\text{ }\mu\text{m}$  sebanyak 22,03%. Butir pada baja hasil karburasi pada suhu  $700^{\circ}\text{C}$ , waktu tahan 16 jam, dan ukuran karbon yang lolos ayakan 150 mesh memiliki jumlah ukuran butir dibawah  $15\text{ }\mu\text{m}$  sebanyak 49%. Butir pada baja hasil karburasi pada suhu  $850^{\circ}\text{C}$ , waktu tahan 8 jam, dan ukuran karbon yang lolos ayakan 150 mesh memiliki jumlah ukuran butir dibawah  $15\text{ }\mu\text{m}$  sebanyak 35,14%. Semakin kecil ukuran butir, maka kekerasannya akan semakin meningkat. Hal ini dikarenakan semakin kecil ukuran butir, maka akan semakin banyak jumlah butir yang terbentuk, yang berarti area batas butir semakin banyak. Batas butir yang semakin banyak ini akan semakin menghambat gerak dislokasi sehingga logam akan semakin keras. Butir pada baja hasil karburasi pada suhu  $700^{\circ}\text{C}$ , waktu tahan 16 jam, dan ukuran karbon yang lolos ayakan 150 mesh memiliki jumlah ukuran butir dibawah  $15\text{ }\mu\text{m}$  sebanyak 49%, lebih banyak dibandingkan baja hasil karburasi tanpa perlakuan, ataupun baja hasil karburasi pada suhu  $850^{\circ}\text{C}$ , waktu tahan 8 jam, dan ukuran karbon yang lolos ayakan 50 mesh. Hal inilah yang menyebabkan kekerasannya lebih tinggi.

#### **4.4. Pengaruh Karburasi terhadap Nilai Sudut Kontak Baja AISI 316L**

Uji sudut kontak merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui perubahan kekasaran baja hasil karburasi. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sifat hidrofobisitas bahan. Permukaan bahan dapat bersifat hidrofobik atau hidrofilik. Hidrofobik merupakan sifat menolak air atau tidak larut dalam air dengan nilai sudut kontak yang lebih besar dari  $90^{\circ}$ . Hidrofilik adalah sifat suka air atau larut dalam air dengan nilai sudut kontak lebih kecil dari  $90^{\circ}$ . Setelah dilakukan pengujian, baja AISI 316L yang tidak mendapatkan perlakuan memiliki sifat hidrofilik dengan nilai sudut kontak sebesar  $84,5^{\circ}$ . Sedangkan semua baja yang sudah mendapatkan perlakuan karburasi memiliki sifat hidrofobik karena nilai sudut kontak diatas  $90^{\circ}$ . Berikut adalah tabel hasil pengukuran sudut kontak.

Tabel 4.4. Nilai sudut kontak baja AISI 316L hasil karburasi

Suhu (°C)	Ayakan	Waktu tahan (jam)	Nilai sudut kontak (°)
700	50 mesh	8	100,7
750	50 mesh	8	99,4
800	50 mesh	8	96,3
850	50 mesh	8	95,9
700	50 mesh	16	98,0
750	50 mesh	16	104,6
800	50 mesh	16	96,1
850	50 mesh	16	97,2
700	150 mesh	8	100,0
750	150 mesh	8	94,2
800	150 mesh	8	90,1
850	150 mesh	8	94,3
700	150 mesh	16	95,3
750	150 mesh	16	95,3
800	150 mesh	16	98,6
850	150 mesh	16	94,9

Secara umum, seluruh baja hasil karburasi memiliki sifat hidrofobik atau menolak air karena memiliki nilai sudut kontak yang lebih besar dari 90°. Baja tersebut memiliki sifat hidrofobik karena pada saat proses pemanasan, atom-atom karbon menyisip ke dalam permukaan baja. Hal ini menyebabkan meningkatnya kekasaran pada permukaan baja yang disebabkan oleh perubahan struktur mikro pada baja hasil karburasi. Saat air ditetaskan pada permukaan baja, maka air akan memenuhi lekukan permukaan kasar dan terjadi kontak antara air dengan permukaan baja. Menurut Gusrita, dkk., (2014), semakin kasar permukaan maka area kontak akan semakin berkurang dan besarnya sudut kontak akan bertambah. Semakin besar ukuran partikel dalam skala mikro, maka kontak antara air dengan permukaan baja akan semakin besar, sehingga sudut kontak yang terbentuk semakin

kecil. Hal ini terjadi karena adanya interaksi antara permukaan baja dengan air yang dapat meningkatkan kebasahan. Sebaliknya, semakin kecil ukuran partikel menyebabkan kontak antara air dan udara semakin besar, sehingga semakin banyak udara yang terjebak di tengah-tengah lekukan kekasaran pada permukaan baja. Kontak antara air dan udara yang semakin besar menyebabkan tegangan permukaan yang semakin besar juga. Hal inilah yang menyebabkan air berbentuk bulat dan membuat sudut kontak semakin membesar.

Berdasarkan Tabel 4.3. diketahui bahwa nilai sudut kontak tertinggi pada ukuran karbon lolos ayakan 50 mesh dengan waktu tahan 8 jam adalah pada suhu  $700^{\circ}\text{C}$  sebesar  $100,7^{\circ}$ , sedangkan waktu tahan 16 jam adalah pada suhu  $750^{\circ}\text{C}$  sebesar  $104,6^{\circ}$ . Nilai sudut kontak tertinggi pada ukuran karbon lolos ayakan 150 mesh dengan waktu 8 jam adalah pada suhu  $700^{\circ}\text{C}$  sebesar  $100,0^{\circ}$ , sedangkan pada waktu 16 jam adalah pada suhu  $800^{\circ}\text{C}$  sebesar  $98,6^{\circ}$ . Berdasarkan data tersebut didapatkan nilai hasil sudut kontak yang bersifat acak. Hal ini disebabkan sebelum dilakukan proses karburasi semua spesimen belum digosok pada bagian permukaannya, sehingga kekasaran permukaan awal spesimen tidaklah sama. Selain itu, prosedur *polishing* atau penggosokan spesimen setelah proses karburasi dilakukan secara manual tanpa alat, sehingga tidak semua permukaan yang digosok merata.



**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Suhu berpengaruh terhadap nilai kekerasan baja hasil karburasi, dimana setelah dilakukan karburasi, permukaan baja AISI 316L mengalami kenaikan kekerasan dibandingkan dengan baja AISI 316L tanpa perlakuan. Kenaikan tertinggi yang didapatkan yaitu pada suhu 700°C, waktu tahan 16 jam dan ukuran karbon lolos ayakan 150 mesh sebesar 556,23 HV<sub>3</sub>. Suhu juga berpengaruh terhadap struktur mikro, dimana terjadi transformasi fase dari austenit menjadi ferit dan terdapat interstisi karbon pada batas butir.
2. Baja hasil karburasi dengan waktu tahan 16 jam memiliki kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan waktu tahan 8 jam. Lamanya waktu karburasi mengakibatkan semakin banyak karbon yang terdifusi ke dalam permukaan baja. Pada waktu tahan 8 jam dan 16 jam terdapat fase ferit dan interstisi karbon pada batas butir.
3. Baja hasil karburasi dengan ukuran karbon lolos ayakan 150 mesh memiliki kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan ukuran karbon lolos ayakan 50 mesh. Semakin kecil ukuran karbon, maka kontak butir karbon dengan permukaan baja akan semakin besar. Ukuran serbuk yang kecil meningkatkan efektifitas dalam proses karburasi. Hal tersebut akan mempermudah dan mempercepat terjadinya difusi, sehingga akan berpengaruh terhadap nilai kekerasan baja hasil karburasi. Pada ukuran karbon yang lolos ayakan 50 mesh dan 150 mesh terdapat fase ferit dan interstisi karbon pada batas butir.

#### **5.2. Saran**

Perlu dilakukan karburasi dengan suhu yang lebih tinggi untuk melihat pengaruhnya terhadap kekerasan dan struktur mikro

spesimen. Selain itu, perlu dilakukan uji komposisi baja untuk mengetahui kandungan karbon sebelum dan setelah proses karburasi dan uji XRD untuk mengetahui perubahan fase yang terbentuk.





## DAFTAR PUSTAKA

- Affiz, F. 2012. Pengaruh Pengerolan Pra Pemanasan Dibawah Temperatur Rekristalisasi dan Tingkat Deformasi terhadap Kekerasan Dan Kekuatan Tarik serta Struktur Mikro Baja Karbon Sedang untuk Mata Pisau Pemanen Sawit. *Jurnal E-Dinamis*, II(2), 34–45.
- Alias, S. K., Abdullah, B., Jaffar, A., Latip, S. A., Kasolang, S., Izham, M. F., & Ghani, M. A. A. 2013. Mechanical Properties of Paste Carburized ASTM A516 Steel. *Procedia Engineering*, 68, 525–530. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.12.216>
- Askeland, D. R., Fulay, P. P., & Wright, W. J. 2010. *The Science and Engineering of Materials*. Virginia Tech. Stamford: Cengage Learning. Retrieved from <http://www.mse.vt.edu/Default.aspx?tabid=390>
- Aziz Cahyo Yullye Antoro. 2009. *Pengaruh Ketebalan Media Karburasi pada Proses Pack Carburizing Terhadap Nilai Kekerasan Baja Karbon Rendah*. Jurusan Teknik Mesin.
- Bandriyana, B., Untoro, P., & Sugiono, B. 2003. bandriyana.pdf. *Jurnal Sains Dan Teknologi Nuklir Indonesia*, 4(1), 27–41.
- Handoyo, Y. 2015. Pengaruh Quenching Dan Tempering Pada Baja JIS Grade S45C Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro Crankshaft. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 3(2), 102–115.
- Kusumaningrum, W., & Nurhayati, I. 2016. Winda Kusumaningrum dan Indah Nurhayati : Penggunaan Karbon Aktif Dari Ampas Tebu Sebagai Media Adsorpsi Untuk Menurunkan Kadar Fe (Besi) dan Mn (Mangan Pada Air Sumur Gali di desa Gelam Candi. *Jurnal Teknik Waktu*, 14(01), 1–7.
- Kuswanto, B. 2010. *Pengaruh Perbedaan Ukuran Butir Arang Tempurung Kelapa-Barium Karbonat Terhadap Peningkatan Kekerasan Permukaan Material Baja ST 37 Dengan Proses Pack Carburizing*. Universitas Diponegoro.

- LAMET, Aaronson, H. I., & Abraham, J. K. 1985. *Metallography and Microstructures. Technology* (Vol. 9). New York: ASM International. [https://doi.org/10.1016/S0026-0576\(03\)90166-8](https://doi.org/10.1016/S0026-0576(03)90166-8)
- Malau, V., & Khasani. 2008. jhon 20 viktor.pdf Karakterisasi Laju Keausan dan Kekerasan dari Pack Carburizing pada Baja Karbon AISI 1020. *Media Teknik*, 3, 367–374.
- Matthews, G. 1993. The Carbon Content of Trees. In *The Carbon Content of Trees* (pp. 1–10).
- Mulyana, D., & Asmarahman, C. 2010. *7 Jenis Kayu Penghasil Rupiah*. (N. Riawan, Ed.). Jakarta: PT AgroMedia Pustaka.
- Negara, D. N. K. P. 2016. Efektifitas Carburizer dari Sumber Karbon Berbeda pada Proses Pack Carburizing. *Jurnal METTEK*, 2(1), 5–10.
- Nurjito, & Leman, A. 2008. Campuran Arang Tempurung Kelapa Bekas dan Arang Tempurung Kelapa Baru untuk Media Karburasi Baja Karbon Rendah. *Media Teknika*, 8(1), 52–60.
- Prasetyo, M. T., Berahim, I., & Haryono, T. 2012. Pengujian Sudut Kontak pada Bahan Isolasi Resin Epoksi dengan Pengisi Pasir Pantai yang mengandung Banyak Kalsium. *Media Elektrika*, 5(1), 55–63.
- Pujiarti, R., & Sutapa, J. P. G. 2005. Mutu Arang Aktif dari Limbah Kayu Mahoni (*Swietenia macrophylla* King) sebagai Bahan Penjernih Air. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kayu Tropis*, 3(2), 33–38.  
Retrieved from [http://teknologihutan.fkt.ugm.ac.id/userfiles/download/Mutu\\_Arang\\_Aktif\\_dari\\_Limbah\\_Kayu\\_Mahoni\\_sebagai\\_Bahan\\_Penjernih\\_Air\\_-\\_Rini\\_Pujiarti.pdf](http://teknologihutan.fkt.ugm.ac.id/userfiles/download/Mutu_Arang_Aktif_dari_Limbah_Kayu_Mahoni_sebagai_Bahan_Penjernih_Air_-_Rini_Pujiarti.pdf)
- R.M., L. S., Sudjatmoko, S., T., Darsono, Sulamdari, S., & Supardjono. 1996. Karakterisasi Struktur Mikro Stainless-steel Hasil Implantasi Ion Nitrogen. *Prosiding Pertemuan Don Presentasi Ilmiah*, (ISSN 0216-3128), 50–56.
- Rahman, T., Fadhlulloh, M. A., Nandiyanto, A. B. D., & Mudzakir,

- A. 2015. Review : Sintesis Karbon Nanopartikel. *Jurnal Integrasi Proses*, 5(3), 120–131.
- Robbina, M. A. 2012. *Mikro Akibat Variasi Katalis Pada Proses Carburizing Baja S45C*.
- Setiawan, J. 2012. Pengembangan Program Perhitungan Koefisien Difusi Material dalam Rekayasa Permukaan, 15(3), 551–556.
- Suryanto, H. 2007. Pengaruh Suhu Karburasi terhadap Ketebalan, Kekerasan, dan Struktur Mikro Lapisan Karburasi Baja ST37, (October), 1–11.
- Sutowo, C., Ikhsan, M., & Kartika, I. 2014. Karakteristik Material Biokompatibel Aplikasi Implan Medis Jenis Bone Plate. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi*, 1–5.
- Syakur, A., A. I. N., Sarjiya, & Berahim, H. 2011. Pengaruh Penambahan Silikon terhadap Sudut Kontak Hidropobik dan Karakteristik Arus Bocor Permukaan Bahan Resin Epoksi. *Jurnal Teknik*, 32(3), 198–203.
- Wattimena, W. M. ., & Louhenapessy, J. 2014. Jurnal Ilmu - Ilmu Teknik dan Sains. *Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik Dan Sains*, 11(1), 1163–1171.
- Wenten, I. G., Himma, N. F., Anisah, S., & Prasetya, N. 2015. *Membran Superhidrofobik Pembuatan, Karakterisasi, dan Aplikasi*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Widodo, T. D., Raharjo, R., Kusumaningsih, H., & Rizky, E. R. 2015. Modifikasi Kekerasan Baja Tahan Karat AISI 316L dengan Menggunakan Proses Steel Ball Peening. *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (SNTTM XIV) Banjarmasin*, 37.
- William D. Callister, J. 2007. *Materials Science and Engineering*. (J. Hayton, Ed.) (7th ed.). New York: John Wiley & Sons, Inc.



**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**